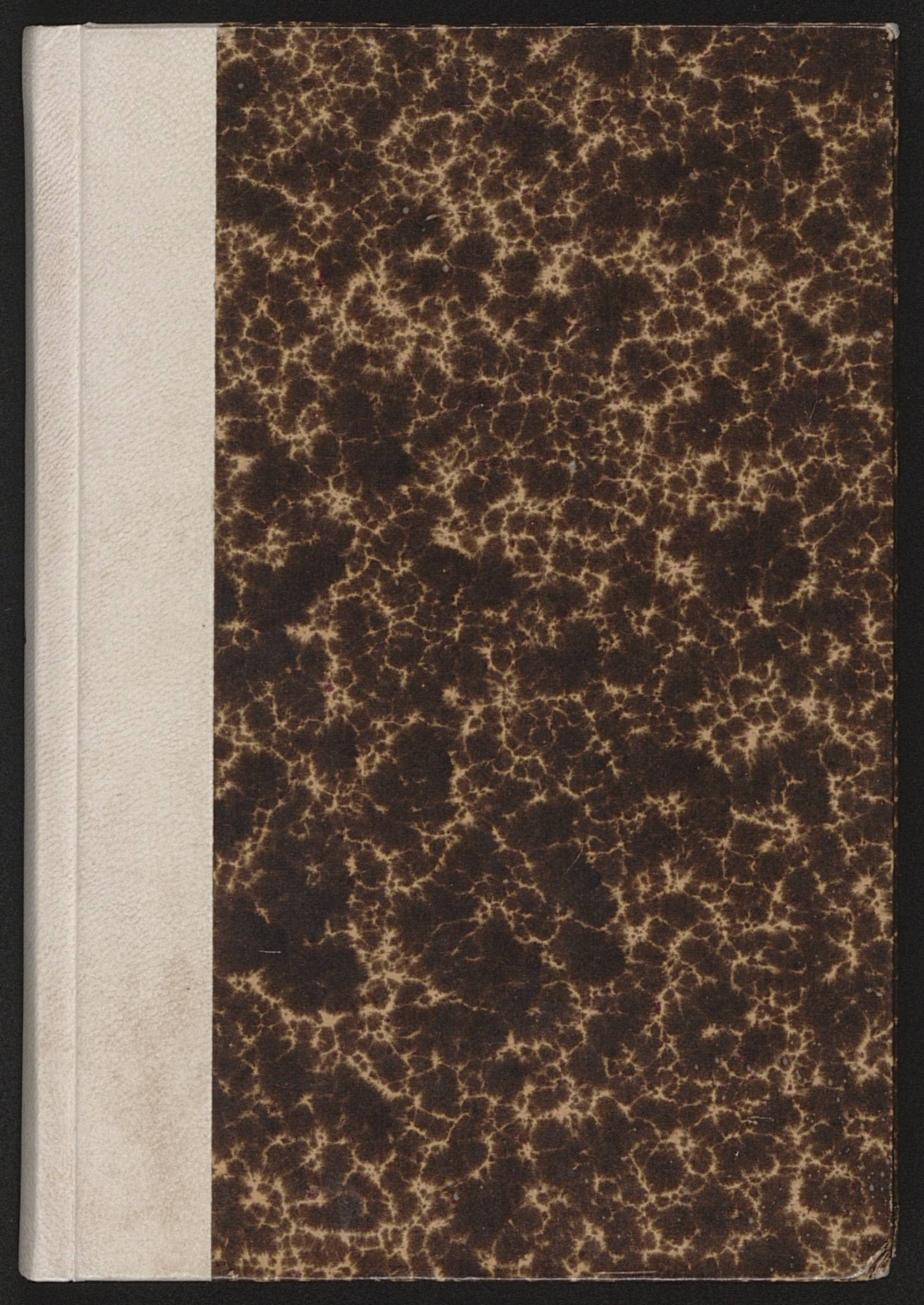
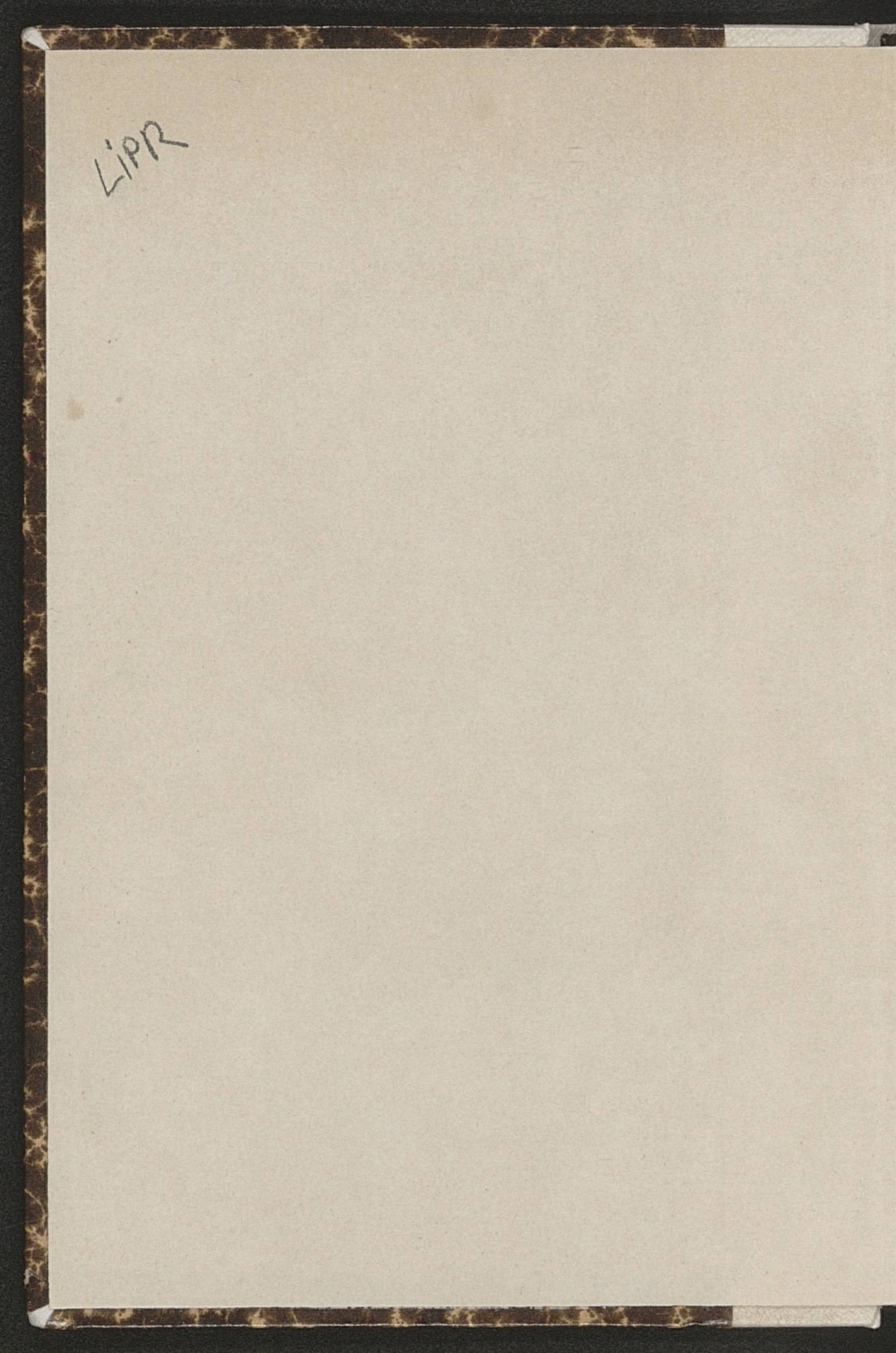
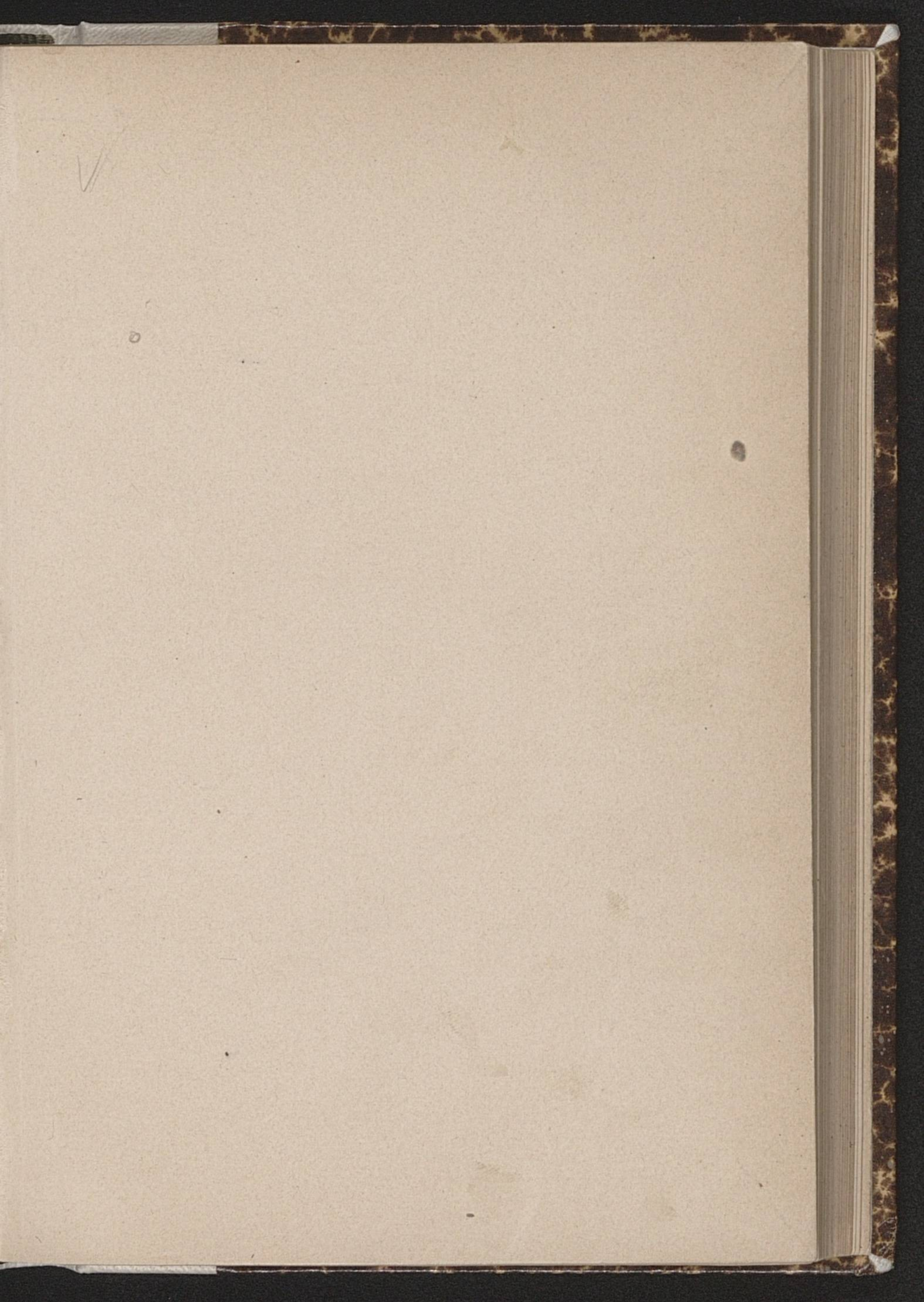
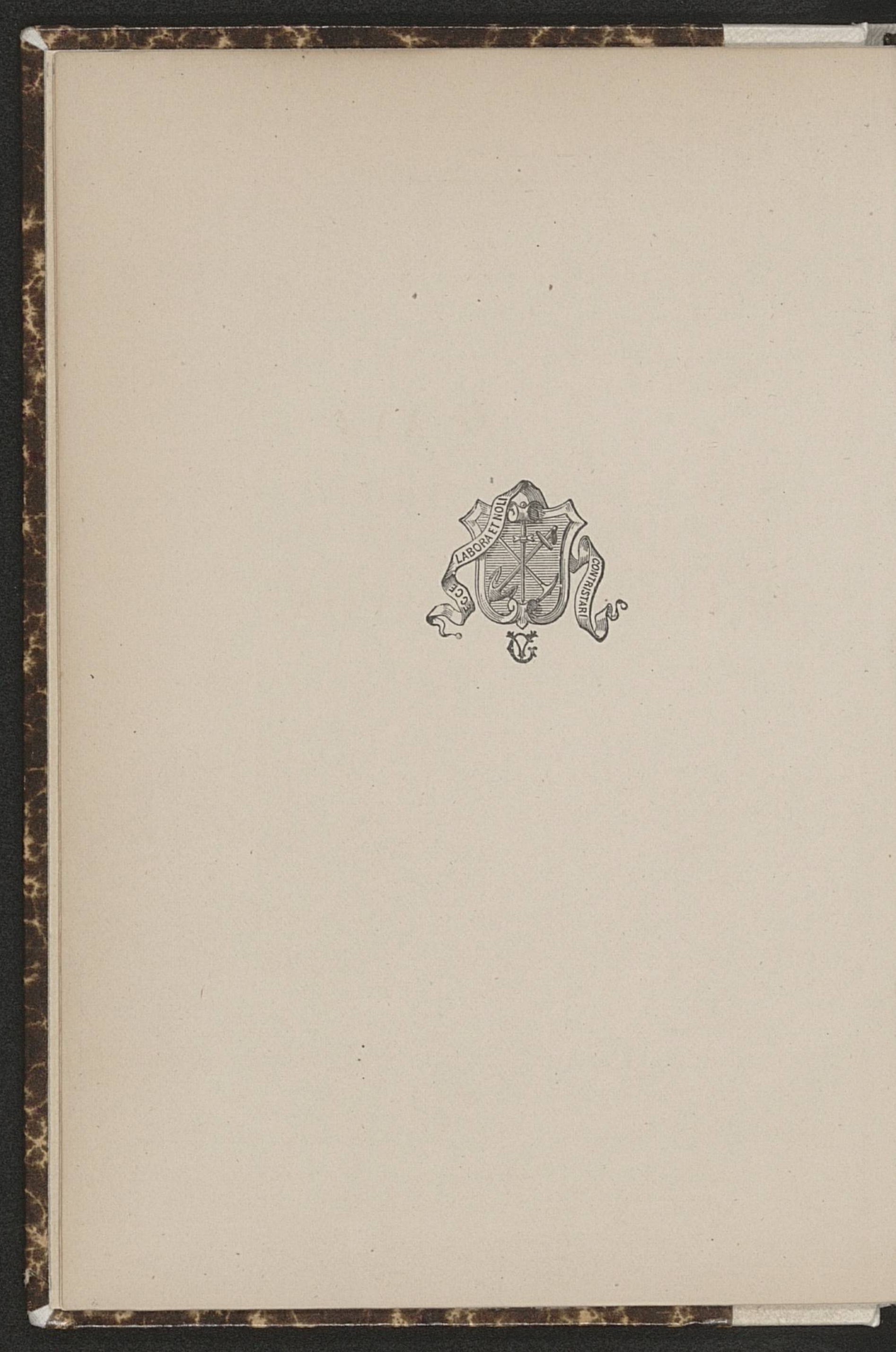
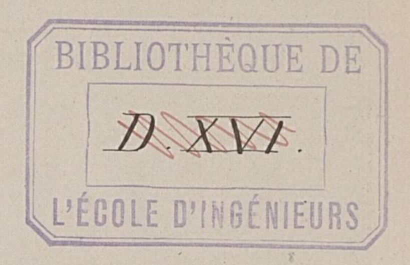


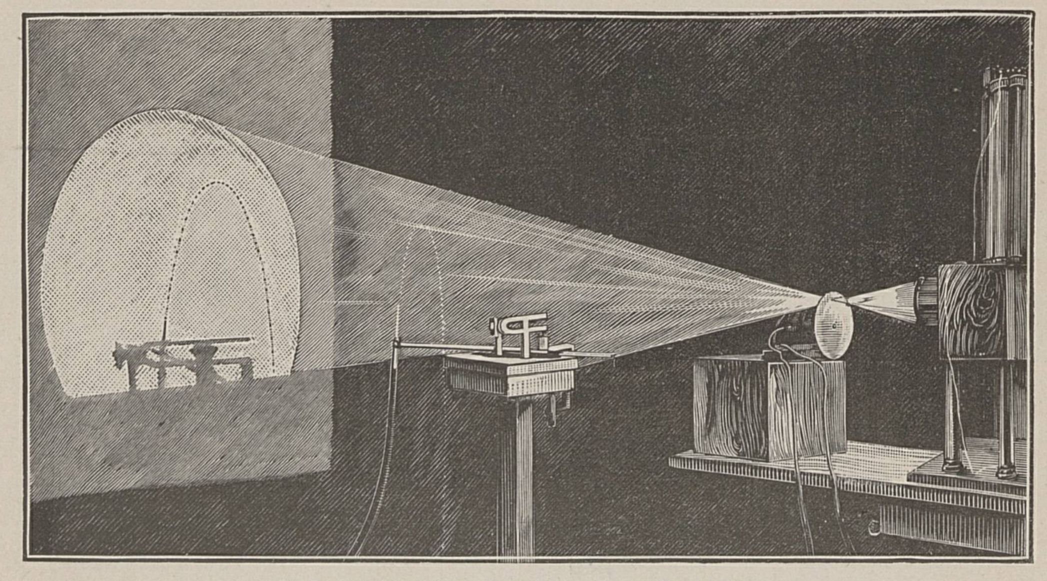

LiPR




CCF LABORA ET NOLI CONTRISTARI



BULLES DE SAVON.



Projection d'un jet musical (p. 75) stroboscopique.

BULLES DE SAVON

QUATRE CONFÉRENCES SUR LA CAPILLARITÉ

FAITES DEVANT UN JEUNE AUDITOIRE

(Charles Vernon)
Par C.-V. BOYS,

Membre de la Société Royale de Londres.

TRADUIT DE L'ANGLAIS

(arles) (ouard)
Par Ch.-Ed. GUILLAUME,

Docteur ès Sciences.

AVEC DE NOUVELLES NOTES DE L'AUTEUR ET DU TRADUCTEUR.

« Soufflez une bulle de savon, et regardez-la ; vous pourrez l'étudier votre vie durant, et toujours en tirer des leçons de science ».

SIR W. THOMSON,
(*La grandeur des atomes.*)



PARIS,

GAUTHIER-VILLARS ET FILS, IMPRIMEURS-LIBRAIRES

DU BUREAU DES LONGITUDES, DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE,

Quai des Grands-Augustins, 55.

—

1892

AVERTISSEMENT DU TRADUCTEUR.

Il y a quelques mois, au cours d'une visite que je fis au laboratoire de M. Boys à South Kensington, le jeune membre de la Société Royale, après m'avoir montré de merveilleuses choses de son invention (le filage du quartz, un nouveau microradiomètre, l'expérience de Cavendish exécutée au moyen d'un minuscule appareil), me remit un petit livre intitulé *Soap bubbles*, — bulles de savon — titre bien léger, et particulièrement extensible, qui, suivant le dessein de l'Auteur, peut contenir fort peu de chose, ou bien embrasser tout l'ensemble de cette science si importante, la Capillarité. La lecture de cet Ouvrage me fit paraître si court le voyage de retour, qu'en arrivant à Paris, j'avais résolu de faire mon possible pour rendre plus facilement accessible à ceux de nos confrères qui ne

sont pas familiarisés avec la langue anglaise, cette véritable lanterne magique d'expériences peu connues, pour la plupart anglo-saxonnes, dont beaucoup sont dues à l'Auteur même du livre, et quelques-unes encore inédites. M. Boys, dans sa préface, reconnaît ce que son livre a d'imparfait ; je ne puis qu'y renvoyer ; ce n'est pas un Traité, c'est le texte exact d'une série de conférences, destinées à conduire graduellement l'auditeur à la conception de ce que sont les forces capillaires.

La traduction qu'on va lire n'est pas une reproduction fidèle de l'original, qui était comme le compte rendu sténographique de ces conférences. J'ai cru devoir en atténuer en maint endroit la forme trop purement didactique. Je l'ai cependant conservée d'une manière générale, car, en la sacrifiant totalement, certaines particularités eussent perdu leur raison d'être, et le caractère même du livre eût été complètement changé. M. Boys a bien voulu m'autoriser à m'écarter de l'original en laissant de côté des allusions trop exclusivement britanniques pour être comprises hors du Royaume-Uni ; enfin, il m'a fourni les données d'expériences nouvelles, comme celles qui concernent le ma-

gnétisme de l'oxygène, et qui ont été décrites en échange de quelques pages moins importantes. Les observations récentes par lesquelles le professeur Miall a montré comment certaines larves aquatiques utilisent rationnellement la tension superficielle dans les diverses phases de leur existence ont trouvé naturellement à se placer à la fin du premier Chapitre. Une partie d'entre elles ont été communiquées dernièrement à l'Association Britannique, d'autres sont inédites, et m'ont été obligeamment communiquées par l'éminent Professeur. Cela dit pour les lecteurs qui, comparant la traduction avec l'original, pourraient m'accuser d'un manque de conscience littéraire, il ne me reste plus qu'à souhaiter à ceux qui liront ce petit livre d'y retrouver tout le plaisir que j'ai goûté en le traduisant.

Ch.-Ed. Guillaume.

Pavillon de Breteuil, Sèvres, janvier 1892.

PRÉFACE DE L'AUTEUR.

Je prie ceux de mes lecteurs qui n'en sont plus aux éléments de la science, et pourraient trouver ce livre trop incomplet ou banal en maint endroit, de bien vouloir se souvenir que ces leçons ont été faites devant un jeune auditoire auquel seul elles étaient d'abord destinées. Je recommande aux jeunes gens de faire leur possible pour répéter les expériences qui y sont décrites; ils verront que, dans la plupart des cas, elles nécessitent pour tout appareil un tube de verre ou de caoutchouc, ou d'autres choses aussi faciles à se procurer. Ils seront, je crois, récompensés de leurs premières peines par de faciles réussites; et si, au lieu de se laisser décourager par quelques insuccès, ils persévèrent avec les meilleurs procédés à leur disposition, les expériences les plus difficiles deviendront

pour eux les plus intéressantes. Quelques-unes d'entre elles sont si simples qu'elles réussissent du premier coup; d'autres le sont moins; pour encourager ceux qui désirent voir par eux-mêmes les expériences que j'ai décrites, j'ai donné, à la fin du volume, quelques indications qui pourront leur être utiles.

J'ai fait libre usage des publications de plusieurs savants éminents, parmi lesquels je citerai Savart, Plateau, Clerk Maxwell, Sir William Thomson, Lord Rayleigh, M. Chichester Bell et le professeur Rücker. Les expériences ont été, pour la plupart, décrites par eux; j'en ai imaginé ou arrangé quelques-unes. Je dois de vifs remerciements au professeur Rücker, qui a mis à ma disposition, pour ces conférences, les ressources de son laboratoire.

CHARLES-VERNON BOYS.

BULLES DE SAVON.

PREMIÈRE CONFÉRENCE.

LA TENSION SUPERFICIELLE.

Expériences préliminaires.

Il n'en est aucun parmi vous qui n'ait soufflé des bulles de savon, et, tandis qu'il admirait la perfection de leur forme et le merveilleux éclat de leurs couleurs, ne se soit étonné qu'avec si peu de peine on puisse se procurer un aussi beau spectacle. Je me propose de vous montrer qu'une simple bulle de savon nous fournit de multiples enseignements. Votre intérêt pour cet admirable objet grandira, je pense, à mesure que vous le connaîtrez mieux.

Quelques-uns d'entre vous désirent peut-être savoir pourquoi j'ai choisi les bulles de savon comme sujet de ces leçons; je vais vous le dire. Bien qu'un grand nombre de sujets puissent attirer davantage un commençant, il en est peu qui se rapportent aussi directement à ce que nous voyons journellement. Nous ne pouvons verser de l'eau d'une carafe, du thé d'une théière, nous ne pouvons, en un mot, faire quoi que ce soit avec un liquide sans mettre en jeu les forces dont nous allons nous occuper. Vous ne manquerez pas d'être fréquemment remémorés à ce que vous allez voir et entendre, et, ce qui est plus important, la plupart des expériences que je vais vous montrer sont si simples que vous pourrez les répéter sans aucun appareil, et vous y trouverez plus de plaisir qu'à les voir faire.

Si je vous demandais pourquoi je désire vous montrer des expériences, vous me répondriez sans doute que c'est pour rendre ces leçons moins ennuyeuses; ce n'est pas la seule raison. Lorsque nous voulons nous instruire sur un fait que nous ne connaissons pas, nous pouvons chercher la réponse dans les livres ou la demander à une personne qui est à même de nous renseigner; ou bien nous pouvons découvrir pour notre compte ce que

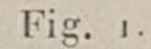
nous voulons savoir; c'est le seul moyen que nous ayons à notre disposition lorsque personne ne peut nous répondre.

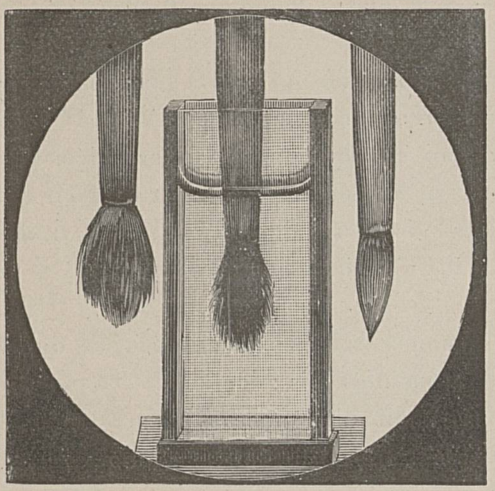
Une expérience est une question posée à la Nature, qui est toujours prête à donner une réponse correcte, à la condition que la question soit elle-même correctement posée. Ce n'est pas un escamotage, ni rien qui doive donner l'idée du merveilleux; celles que je ferai devant vous ont surtout pour but de vous faire connaître les vraies réponses aux questions que je poserai.

Je commencerai par une expérience que vous avez faite maintes fois : lorsqu'on veut coller ensemble les poils d'un pinceau, de manière à obtenir une pointe fine, on le trempe dans l'eau, et l'on pense que les poils adhèrent les uns aux autres parce qu'ils sont mouillés. Or, en y regardant de plus près, nous voyons que, tant que le pinceau reste plongé dans l'eau, les poils demeurent séparés (*fig.* 1); l'humidité ne suffit donc pas à les agglomérer, et nous devons avoir recours à une autre raison que nous ne connaissons pas encore.

Mais nous allons nous rapprocher de la véritable explication du phénomène. Je fais écouler lentement de l'eau par un tube étroit; elle ne tombe pas

d'une manière continue : une goutte se forme, elle croît peu à peu jusqu'à ce qu'elle ait atteint une

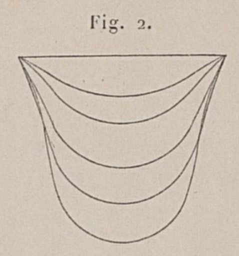




certaine grosseur définie, puis elle se détache subitement. Le fait que la goutte a toujours la même grandeur et la même forme ne peut pas être dû au hasard ; il y a, pour cela, une raison constante. Pourquoi l'eau demeure-t-elle un instant à l'orifice ? Elle est lourde et prête à tomber, mais elle ne se sépare du tube que lorsque les forces qui la retenaient ont été vaincues par le poids de la goutte, comme si elles ne pouvaient pas en porter davantage.

Les formes successives d'une goutte d'eau ont été dessinées par M. Worthington, et sont représentées dans la *fig.* 2. La vue de ce diagramme suggérera probablement l'idée que l'eau est retenue

Fig. 2.

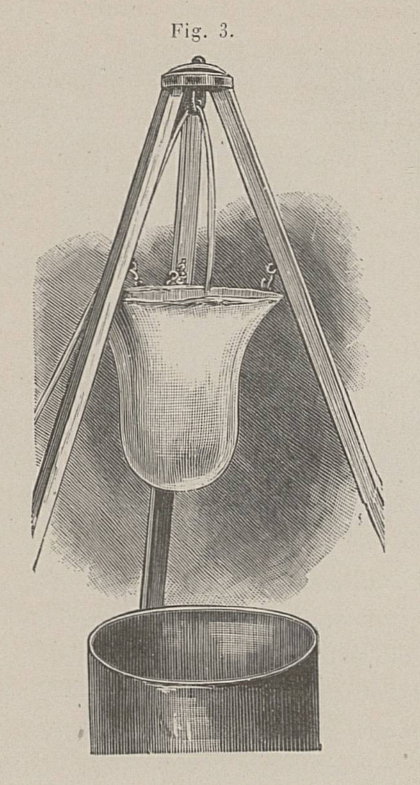


par un sac élastique, qui se déchire lorsqu'il ne peut plus supporter son poids.

Il est aisé de voir, par une analogie matérielle, que cela n'est pas un simple jeu de l'imagination. Un anneau de bois suspendu à un trépied (*fig.* 3) supporte une mince feuille de caoutchouc dans laquelle je fais arriver graduellement de l'eau; le caoutchouc se tend peu à peu, et il est remarquable de voir que cette outre réelle prend les formes successives de la goutte d'eau. En continuant à verser de l'eau, on voit que le sac se tend au point d'être près de crever; sa forme change subitement, il s'étrangle et prend exactement la forme de la goutte au moment où elle va tomber; la force de la mem-

brane de caoutchouc la retient cependant. En aspirant l'eau au moyen d'un siphon, nous voyons

Fig. 3.



l'outre repasser par toutes les formes de la goutte d'eau.

Dans l'un des cas, nous avons un sac élastique

bien visible; dans l'autre, nous n'en voyons pas; mais, comme les deux gouttes, la grosse et la petite, se comportent exactement de la même façon, nous sommes autorisés à conclure que leurs formes et leurs mouvements sont dus à la même cause.

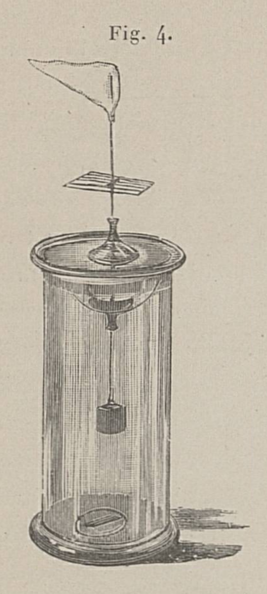
L'observation faite avec le pinceau devient aisée à expliquer; nous avons vu que ce n'est pas l'eau qui force les poils à s'agglomérer; il faut, pour cela, que le pinceau soit hors de l'eau, c'est-à-dire que la pellicule élastique, qui se trouve à la surface, entoure les poils et les rassemble.

D'autres expériences vont confirmer notre hypothèse d'après laquelle l'eau se comporte comme si elle était entourée d'une pellicule élastique.

Voici un appareil (*fig.* 4) composé d'une boule creuse en verre, surmontée d'une tige de métal qui supporte un petit carré de toile métallique. Le tout est lesté de telle sorte que la toile se trouve entièrement hors de l'eau. Si notre hypothèse est exacte, la pellicule de l'eau doit résister au passage de la toile, que je maintiens au-dessous de la surface; au moment où j'abandonne le flotteur, celui-ci, au lieu de bondir comme il ferait sans la présence du carré de toile, reste partiellement immergé par l'adhérence du réseau à la surface de l'eau. Si je courbe un coin du morceau de toile, de façon à déchirer la

pelliculé, le flotteur se soulève aussitôt jusqu'à son premier niveau ; le petit drapeau qui surmonte l'appareil rend ces mouvements visibles à tout l'au-

Fig. 4.



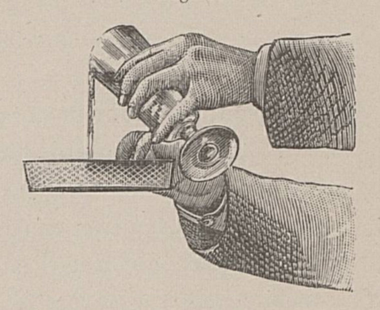
ditoire ; pour ramener la toile au niveau de l'eau, je suis obligé de la charger de 8 grammes ([1]).

L'existence de cette sorte de membrane superficielle des liquides nous est démontrée par d'autres observations. Le fil métallique propre est mouillé

([1]) Cette expérience est due à M. van der Mensbrugghe.

par l'eau; d'autre part, il est certaines matières, la paraffine par exemple, qui ne sont pas mouillées, c'est-à-dire touchées par l'eau; en effet, lorsqu'on plonge dans l'eau une bougie de paraffine, elle en sort sèche. J'ai tendu sur un cadre un petit crible à mailles assez larges pour laisser passer une épingle

Fig. 5.



de moyenne grosseur; les trous sont au nombre de 11000 environ. J'ai trempé le crible dans de la paraffine fondue, puis je l'ai secoué de manière à ce que cette substance, tout en recouvrant le fil, laisse les trous vides, comme vous pouvez vous en convaincre en regardant la projection agrandie d'une partie du fond sur l'écran. Si je verse de l'eau dans le crible, la pellicule que nous supposons exister se tendra sur les trous, et ne permettra à l'eau de passer que si elle se déchire.

Pour briser le choc de l'eau, je dispose au fond du crible un morceau de papier, sur lequel je verse le contenu d'un grand verre (*fig.* 5); j'enlève le papier et rien ne s'écoule. Si, maintenant, je donne à ce vase d'un nouveau genre une brusque secousse, de manière à distendre la membrane de l'eau, il se vide en un instant. Vous voyez que rien n'est plus facile que de porter de l'eau dans un crible; il suffit, pour cela, d'empêcher le liquide d'en mouiller les mailles ([1]).

Pour la même raison, le crible flotte sur l'eau, à la manière d'un bateau, et peut être chargé sans couler à fond. Il possède même, sur les bateaux ordinaires, une certaine supériorité, en ce sens que l'on peut y laisser tomber un filet d'eau sans le submerger. Le liquide passe à travers les mailles, et rejoint celui qui est à l'extérieur.

([1]) Ce principe a reçu une application importante dans la fabrication d'étoffes qui laissent passer librement l'air et la vapeur d'eau, mais qui sont imperméables à l'eau. On souffle aisément une bougie à travers un morceau de toile ainsi préparée, qui, en revanche, plié en forme de sac, retient indéfiniment l'eau qu'on y met.

On peut, ainsi que M. F. de Romilly l'a montré, faire bouillir de l'eau dans une cloche dont le fond est constitué par de la gaze à mailles assez larges. (*Note du Trad.*)

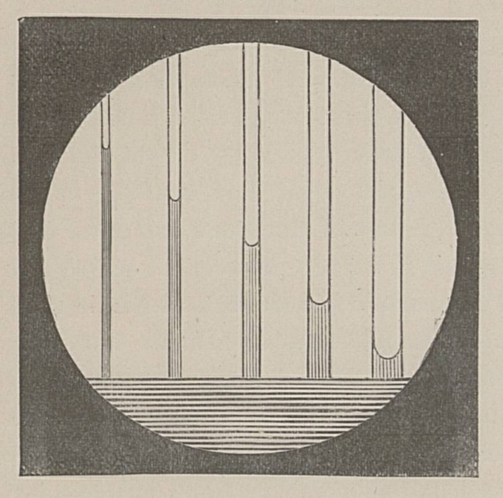
Ascensions et dépressions capillaires.

Dans les tubes étroits, les liquides se comportent d'une façon particulière. Lorsqu'on plonge dans l'eau un tube de verre de faible diamètre, le liquide s'élève dans le tube au-dessus du niveau extérieur; sa peau élastique s'attache à la surface du verre, et attire l'eau jusqu'à ce que le poids soulevé devienne égal à la force exercée par la pellicule. Si l'on prend un tube deux fois plus large que le premier, la force de traction qui s'exerce sur tout le pourtour est doublée; mais le tube large contient, pour une même hauteur, quatre fois plus de liquide que le tube étroit; pour une hauteur moitié moindre, il en contient encore le double; on en conclut que l'eau doit monter dans le tube large deux fois moins haut que dans le tube étroit ou, généralement, que l'ascension du liquide est inversement proportionnelle au diamètre du tube, ce que l'expérience vérifie (*fig.* 6). Dans un tube de la grosseur d'un cheveu, l'eau s'élève à une grande hauteur; c'est pour cette raison que l'action dont nous nous occupons se nomme *capillarité*, du mot latin *capillus*, un cheveu.

On obtient un effet analogue à celui que nous

avons constaté dans des tubes de divers diamètres, en plaçant l'une contre l'autre deux plaques de verre, que l'on met en contact le long d'un bord,

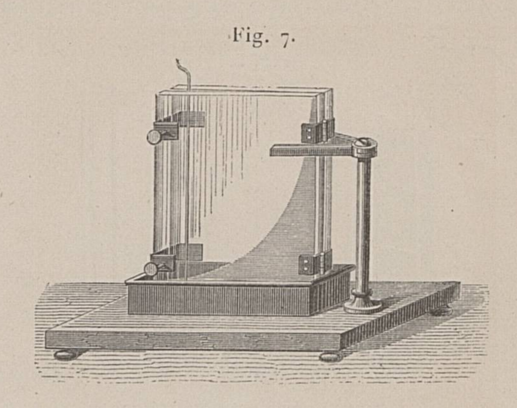
Fig. 6.



tandis qu'on les sépare de l'autre côté au moyen d'une petite cale. Les plaques sont maintenues ensemble par une charnière, ou, plus simplement, par un anneau de caoutchouc. Lorsqu'on plonge les plaques dans l'eau, en plaçant verticalement l'arête de contact, on voit le liquide s'élever entre elles, en dessinant une courbe très régulière, qui rejoint le niveau extérieur à l'endroit où les plaques

sont le plus éloignées (*fig.* 7). Le poids du liquide soulevé étant en tout point le même, l'ordonnée de cette courbe est inversement proportionnelle à la distance des plaques, ou, si l'on veut, inversement

Fig. 7.

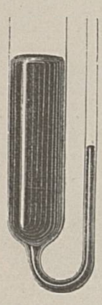


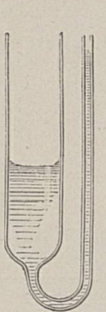
proportionnelle à la distance du bord de contact. C'est la condition qui définit une courbe très importante que l'on nomme l'*hyperbole équilatère*.

Si les plaques ou les tubes étaient formés par des substances non mouillées par l'eau, l'effet de la tension superficielle eût été d'expulser le liquide des espaces étroits, d'autant plus qu'ils seraient moins larges; il n'est pas facile de montrer ce phénomène au moyen d'un tube paraffiné; mais on arrive au même résultat en se servant d'un liquide

tel que le mercure, qui ne mouille pas le verre ; le mercure étant opaque, on ne pourrait pas montrer, par projection, la dépression du liquide, et il faut employer un autre dispositif. Je place une certaine quantité de mercure dans un appareil formé

Fig. 8.





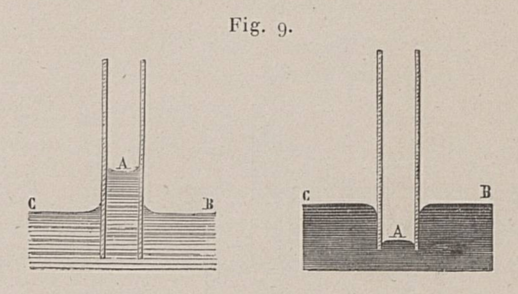
par un tube large et un tube étroit qui communiquent entre eux ; le niveau, dans le tube étroit, est sensiblement plus bas que dans le tube large, tandis que l'inverse se produit lorsqu'on met de l'eau dans un appareil semblable (*fig.* 8).

Actions latérales exercées par les forces capillaires.

Il est intéressant d'étudier les forces qui agissent sur deux plaques partiellement immergées dans un

liquide. Considérons d'abord deux plaques parallèles, entre lesquelles se produit une ascension du liquide (*fig.* 9); les portions qui sont pressées par l'eau des deux côtés, comme celles qui sont entièrement dans l'air, sont soumises de part et d'autre à des forces égales; mais l'eau qui se trouve entre

Fig. 9.

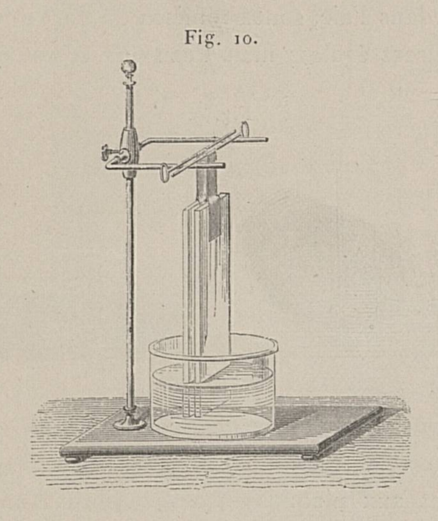


les plaques, au-dessus du niveau général CB, est soumise à la traction de la membrane A, qui se transmet aux plaques et les sollicite l'une vers l'autre. Il est aisé de montrer ce fait, soit avec des plaques suspendues librement à une charnière (*fig.* 10), soit, par exemple, en plaçant sur l'eau de petites boules creuses en verre, qui se précipitent l'une contre l'autre aussitôt qu'on les laisse libres de se mouvoir.

Lorsque les deux boules sont paraffinées, elles s'attirent de même, ce que l'on comprend aisément

par la seule inspection du diagramme. En comparant les deux cas précédents, on voit qu'une plaque mouillée s'avance vers le niveau le plus élevé, tandis qu'une plaque non mouillée cherche à gagner

Fig. 10.



le niveau le plus bas, lorsque, par l'effet des forces capillaires, le liquide est dénivelé. Si l'on met en regard une plaque mouillée et une plaque non mouillée, elles agissent en sens contraire sur l'espace intérieur, de manière à produire, dans une mesure moindre, les effets que l'on constaterait si les plaques étaient isolées. A l'extérieur, l'action s'exerce sans perturbation ; la plaque mouillée

tendra donc à s'échapper vers l'extérieur où le niveau est le plus élevé ; pour une raison inverse, le même phénomène se produit pour la plaque non mouillée.

Il est important de remarquer que, lorsque le liquide mouille la plaque, sa surface est concave, tandis qu'elle est convexe dans le cas contraire ; une expérience très simple montre que cette courbure exerce une influence prépondérante. Je place, dans un bocal à moitié rempli d'eau, un petit globe de verre qui flotte à la surface. Il se précipite vers les parois du bocal, et il est impossible de le maintenir au milieu. J'ajoute graduellement de l'eau jusqu'à ce que la surface s'élève par-dessus les bords du verre en prenant une forme convexe ; le globe gagne le centre, et il est impossible de le faire tenir au bord ; le phénomène inverse s'observe avec une boule paraffinée, ou avec une aiguille d'acier posée avec précaution sur la surface de l'eau ; lorsque le verre est plein, elle gagne le bord et roule sur la surface. Un phénomène identique à celui qui se produit avec les corps mouillés s'observe, ainsi que Mariotte l'a déjà indiqué, avec les bulles qui flottent à la surface du liquide.

Valeur de la tension superficielle.

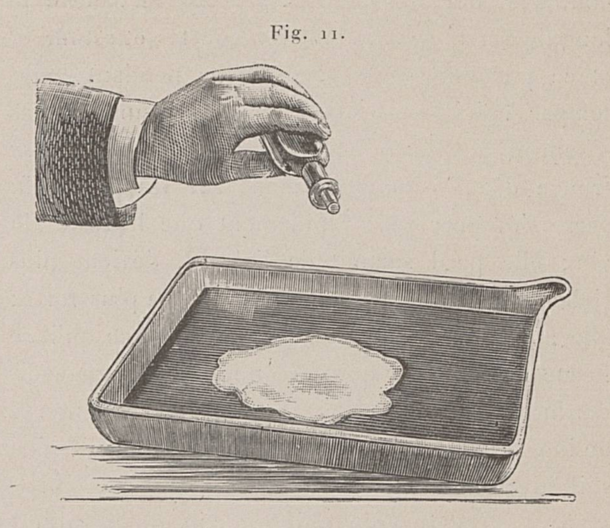
La pellicule d'un liquide possède une force bien définie; pour l'eau, cette force est de 7,6 milligrammes par millimètre, ainsi que l'ont montré des mesures délicates.

Il ne saurait être question, dans cette conférence, de mesurer la valeur de cette force; mais nous pouvons voir aisément qu'elle n'est pas la même pour tous les liquides. Au moyen du tube que nous avons employé au début, nous pouvons former des gouttes en nous servant d'alcool; celles-ci ont toutes la même grandeur, et sont manifestement plus petites que les gouttes d'eau. Dans un même tube, deux facteurs interviennent pour modifier la grosseur des gouttes; ce sont la densité du liquide et sa tension superficielle; plus la densité est grande, plus vite la membrane sera déchirée; or nous savons que l'alcool est plus léger que l'eau; il en résulte, *a fortiori*, que la force de sa membrane est moindre.

Nous pouvons, du reste, engager une lutte entre la membrane de l'eau et celle de l'alcool, et voir immédiatement laquelle est la plus forte. Versons dans une cuvette plate une petite quantité d'eau colorée

en bleu ; elle s'étale en recouvrant complètement le fond de la cuvette ; la membrane est tendue dans toutes les directions avec une égale force, et nous n'observons rien de particulier; mais, si nous lais-

Fig. 11.



sons tomber quelques gouttes d'alcool au milieu de la cuvette, l'eau tire à l'extérieur tandis que l'alcool cherche à se ramasser à l'intérieur de la ligne de démarcation ; la victoire appartient au plus fort ; en un clin d'œil le milieu de la cuvette se dessèche, tandis que l'eau se retire dans toutes les directions, entraînant l'alcool après elle (*fig.* 11).

Cette différence dans la force de la membrane de l'eau et de l'alcool, ou de divers mélanges de ces deux liquides, donne lieu à de curieux mouvements que l'on observe sur les parois d'un verre contenant du vin capiteux. Le liquide s'élève le long du verre, se rassemble en gouttes et retombe, et ce phénomène peut continuer pendant longtemps. Voici l'explication qu'en a donnée James Thomson [1]. La mince couche de liquide qui se trouve dès le commencement sur les parois du verre s'évapore plus rapidement que le reste du vin ; elle perd surtout de l'alcool, devient plus riche en eau, et acquiert une membrane plus forte ; elle attire le vin sur les parois, jusqu'à ce qu'il se forme des gouttes, qui descendent non sans avoir perdu un peu d'alcool. Ce mouvement a été observé de longue date, et il n'est pas douteux qu'il n'en soit fait mention dans les *Proverbes*, Ch. XXIII, v. 31 : « Ne regarde point le vin quand il est rouge, et qu'il donne sa couleur dans la coupe, et qu'il remonte de lui-même. »

Si nous remarquons que ce mouvement ne se

---

[1] *British Association Report ;* 1855. — *Voir* aussi Sir W. Thomson, *Conférences et allocutions publiques*, traduit par M. Lugol : l'Attraction capillaire, Appendice A, p. 37 (Paris, Gauthier-Villars et fils).

produit qu'avec des vins riches en alcool, et qu'il a dû être connu de chacun à l'époque du roi Salomon, on conviendra que les Hébreux devaient posséder des vins capiteux.

L'éther, comme l'alcool, possède une membrane plus faible que celle de l'eau; la plus petite quantité d'éther à la surface de l'eau diminue beaucoup la force de sa membrane. Reprenons l'appareil de M. van der Mensbrugghe (*fig.* 4); la toile métallique est restée adhérente à la surface de l'eau. Je verse quelques gouttes d'éther dans un verre, et j'attends qu'il ait disparu; je verse sa vapeur sur l'appareil, et immédiatement la toile bondit hors de l'eau.

De petites parcelles de camphre jetées sur l'eau se mettent à tourner dans tous les sens; ce phénomène, bien connu, est dû à la diminution de la tension superficielle au voisinage des points d'attaque du camphre (*Voir* Note A).

Applications.

Nous pouvons maintenant considérer comme suffisamment démontré que les liquides possèdent à leur surface une espèce de membrane dont la force diffère d'un liquide à l'autre, et varie beaucoup avec l'état de propreté de la surface.

Je ne veux pas dire par là qu'il existe, à la surface de l'eau, quelque chose qui n'est pas de l'eau; mais le liquide qui s'y trouve agit différemment de celui qui est à l'intérieur; la surface est comme une membrane très mince de caoutchouc, avec cette différence toutefois qu'elle est parfaitement élastique et indéfiniment extensible, ce que le caoutchouc n'est pas.

Les propriétés de cette membrane élastique de

Fig. 12.



l'eau sont fréquemment utilisées. Lorsqu'on veut verser l'eau d'un verre dans une bouteille à goulot étroit, si l'on opère lentement, l'eau coule le long du verre, tandis que, si l'on verse rapidement, une

partie de l'eau tombe à côté du goulot. Pour réussir, il faut faire couler le liquide le long d'une baguette de verre qui le dirige dans la bouteille (*fig.* 12); on peut même incliner la baguette sans que l'eau cesse de la suivre, parce que la pellicule forme une espèce de tube qui l'empêche de s'échapper.

On fait un usage courant de ce moyen dans les campagnes, pour amener l'eau des toits dans les tonneaux où on la recueille; un bâton rend à moins de frais le même service qu'un tuyau.

En utilisant rationnellement la différence de force des membranes, on peut faire tourner à son profit des propriétés de la matière qui, sans cela, deviendraient une source d'ennuis. Lorsqu'on veut enlever une tache de graisse avec de la benzine, on commence généralement par verser quelques gouttes de liquide sur la tache, puis on en ajoute au bout d'un instant. Mais voici ce qui arrive : la benzine chargée de graisse possède une membrane plus forte que le liquide pur; elle tire à l'extérieur, et, plus on verse de benzine dans le milieu, plus la tache s'étale, en formant un rond de graisse. Si, au contraire, on commence par établir un anneau de benzine autour de la tache, et si l'on termine par cette dernière, la benzine grasse se trouve à l'intérieur; elle se rassemble au milieu et

s'échappe dans le chiffon que l'on applique contre l'étoffe.

Lorsqu'on fait du lavis sur du papier trop lisse, la couleur se rassemble en certains points et produit des taches. En mettant dans l'eau une petite quantité de fiel de bœuf, on voit la couleur s'étendre parfaitement par suite de la diminution de la tension superficielle. Nous pouvons constater directement l'action du fiel dans l'eau, au moyen de l'appareil qui nous a servi à montrer l'effet de l'éther; on fait, comme précédemment, jaillir la toile métallique hors de l'eau, si l'on touche seulement sa surface avec la pointe du pinceau trempé dans le fiel de bœuf.

La chaleur exerce de même une influence sur la force de la membrane, qui diminue lorsque la température s'élève. Dans la flamme d'une chandelle, la graisse est plus chaude qu'au bas de la mèche, et l'on peut voir une circulation perpétuelle se produire ; la graisse, aspirée à l'intérieur de la mèche, redescend à l'extérieur, ce qui a pour effet de régulariser la flamme.

Une action analogue se produit lorsque l'on enlève une tache de graisse au moyen d'un fer à repasser et d'un papier buvard.

La tension superficielle et les insectes aquatiques.

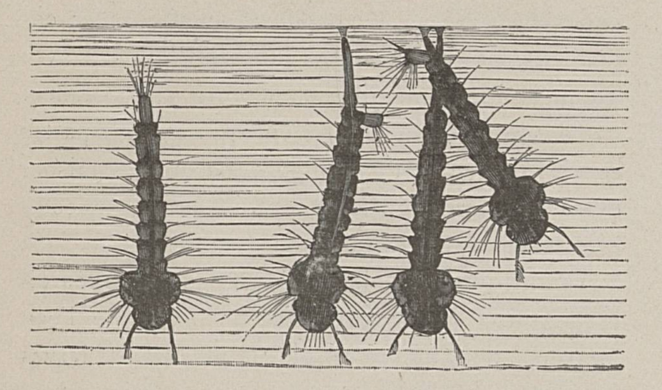
Il semblerait, au premier abord, qu'un emploi rationnel de la tension superficielle suppose forcément certaines connaissances scientifiques : cependant, les êtres les plus infimes l'utilisent avec un merveilleux instinct en mainte circonstance.

Tout le monde a vu des mouches à longues pattes courir sur l'eau, qui les supporte par un mécanisme évident; d'autres insectes font un usage beaucoup plus subtil des forces capillaires.

Tandis que les poissons possèdent un appareil respiratoire qui leur permet d'extraire de l'eau l'oxygène dont ils ont besoin, la plupart des larves aquatiques sont dépourvues de cet organe, et ne trouvent que dans l'air le comburant nécessaire à leur existence. Il y a plus de deux cents ans que Swammerdam a fait connaître, par de minutieuses descriptions et d'admirables dessins, les curieuses évolutions de la larve du cousin, ce diptère aussi désagréable qu'intéressant. La vie de cet animalcule est d'abord aquatique; la larve vit dans les eaux dormantes, et se tient de préférence à la surface où elle peut respirer. Elle est munie, pour cet

usage, de deux tubes à air, émergeant du huitième segment de son abdomen, et la traversant jusqu'à la tête; ces tubes se réunissent dans un siphon pourvu de muscles divers, et dont l'extrémité peut être à

Fig. 13.



volonté ouverte ou fermée. Lorsque la larve éprouve le besoin de respirer, elle quitte le fond de l'eau, et, par de vigoureux coups de queue, gagne la surface, la perce et y reste suspendue, tandis qu'elle cherche sa nourriture en remuant la tête dans tous les sens; vient-elle à être inquiétée, aussitôt elle quitte la surface et se laisse choir par son propre poids; la *fig.* 13, qui est la reproduction d'une photographie plus grande que nature, représente

trois larves suspendues à la surface de l'eau, tandis que la quatrième tombe sans faire un mouvement.

Bien qu'un grand nombre de naturalistes aient dirigé leur attention sur ces singularités, on avait, jusqu'ici, répondu un peu évasivement aux trois questions suivantes, qui suscitent quelques difficultés :

Comment la larve perce-t-elle la surface de l'eau?

Comment y reste-t-elle suspendue?

Comment l'abandonne-t-elle immédiatement et sans efforts lorsqu'elle est alarmée?

Voici ce que nous enseigne à ce sujet un récent travail du professeur Miall.

Tant que l'animal est entièrement plongé dans l'eau, il tient son tube à air complètement fermé; sa queue est alors terminée en pointe, qui perce sans difficulté la surface de l'eau. Aussitôt, le siphon s'ouvre par le jeu des muscles, l'eau adhère aux bords du petit tube, qu'elle aide à distendre en tirant de tous côtés, et la larve, cessant tout mouvement, redescend légèrement en restant suspendue à la pellicule superficielle, qui fait l'appoint de la poussée de l'eau. Mais, dès que l'animal est alarmé, il contracte le tube, ce qu'il peut faire sans effort, puisque la surface de l'eau tire de bas en haut et non suivant le rayon du tube. Aussitôt

l'orifice réduit à un point, la membrane n'exerce plus qu'un effort insignifiant, et la larve tombe.

Remarquons, en passant, que la vie de la larve serait rendue beaucoup plus difficile si l'on diminuait suffisamment la tension superficielle de l'eau. Or, nous pouvons le faire sans grande dépense, en versant sur l'eau un peu d'huile légère ; comme la couche d'huile produit tout son effet lorsqu'elle n'a pas encore atteint, à beaucoup près, l'épaisseur d'un millième de millimètre, une quantité très petite d'huile couvrira une mare d'une grande étendue ; il est sans doute possible d'empêcher ainsi un certain nombre de ces ennuyeux animalcules de venir à bien.

Mais ce n'est pas tout : à l'état de chrysalide, le cousin est plus léger que l'eau ; cependant, il reste presque entièrement plongé, et ne laisse émerger que le pavillon de son tube à air, qui, à ce moment de son existence, s'ouvre derrière la tête du futur moucheron ; la surface de l'eau adhère au bord de cette sorte de trompette, qui est rigide et reste toujours ouverte, en sorte que, si l'animal voulait plonger sans employer d'artifice, il serait forcé de vaincre la traction de la pellicule superficielle de l'eau ; il le pourrait fort probablement, mais, au moment où il veut plonger, il a besoin de toutes

ses forces, et peut en faire un meilleur usage.

Une expérience fera bien comprendre la manière d'agir du moustique. Je place dans l'eau un verre lesté de telle sorte qu'il enfonce très peu au-dessous de la surface. La pellicule de l'eau, à l'endroit où elle s'attache à son pourtour, est presque horizontale, et l'on pourrait ajouter au verre un poids notable sans le submerger. On peut cependant le faire couler en posant sur son bord supérieur un morceau de fil préalablement humecté, qui provoque le suintement de l'eau le long des parois du verre. Si l'on opère avec un tube de 1^{mm} ou 2^{mm} de diamètre seulement, la surface de l'eau se réunit au-dessus de son bord supérieur, qu'elle abandonne complètement. L'air contenu dans le tube empêche l'eau d'y pénétrer, mais il n'en descend pas moins dans le liquide.

La chrysalide du cousin est munie d'un petit pinceau de cils, décrits pour la première fois par Meinert, et qui occupent une partie de l'orifice respiratoire; ces cils viennent fréquemment en contact avec la surface de l'eau, et tendent par moments une membrane sur une partie de l'orifice; lorsque l'insecte veut plonger, il ramène brusquement la membrane sur toute l'ouverture, et quitte sans peine la surface.

Si je voulais vous dire toutes les difficultés que les insectes aquatiques rencontrent dans leur existence, et l'habileté avec laquelle ils les surmontent, j'emploierais bien au delà du temps que nous pouvons consacrer à ces conférences; je désire cependant vous dire encore comment une autre mouche, le *simuli,* fait son entrée dans le monde. A l'état de chrysalide, elle vit de préférence attachée aux plantes aquatiques, dans une sorte de nid qui rappelle celui de certaines hirondelles. Lorsqu'elle est près d'arriver à l'état parfait, elle secrète de l'air aux dépens de l'eau, remplit sa trachée, et gonfle l'enveloppe qu'elle va quitter. Celle-ci ne tarde pas à éclater, et la mouche monte à la surface, complètement enfermée dans une petite bulle d'air, qui descend le courant. La bulle crève au bout d'un instant, et, pour la première fois, la mouche déplie ses pattes, qui lui permettent de courir à la surface de l'eau, vers quelque objet solide, auquel elle reste accrochée jusqu'à ce que ses ailes développées et séchées lui servent à s'envoler.

Le mécanisme de l'éclosion du simuli a été décrit par Verdat en 1824.

DEUXIÈME CONFÉRENCE.

LES MEMBRANES SANS PESANTEUR.

Gouttes sphériques.

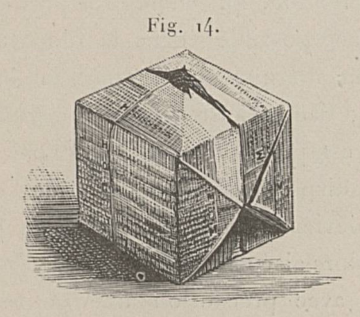
Dans la première conférence, j'ai voulu montrer qu'une goutte de liquide est enveloppée par une membrane tendue, qui cherche à prendre la plus petite surface possible; dans la plupart des cas, la pesanteur masque entièrement la force de la membrane; dans d'autres circonstances, au contraire, elle est prépondérante et l'expérience peut même être disposée de telle sorte que l'effet de la pesanteur devienne insignifiant; l'action de la membrane est alors aisée à étudier.

Versons avec précaution une petite quantité d'eau sur un gâteau de paraffine saupoudré avec du lycopode; le poids de la goutte la presse contre la paraffine et l'étale; mais, si ce poids pouvait être

annulé, elle se trouverait seulement sous l'influence de sa membrane élastique, et prendrait la forme d'une sphère parfaite, parce qu'en aucun autre cas on ne peut renfermer un volume donné dans une aussi petite surface. Si nous trouvons des gouttes n'ayant que la grosseur d'une tête d'épingle, leur poids est minime, tandis que la force de la pellicule reste la même dans tous les cas. Elles s'écrasent par conséquent beaucoup moins que de grosses gouttes, et se rapprochent de la forme sphérique. On le voit aisément avec du mercure, qui se résout en gouttelettes sphériques si on le laisse tomber violemment sur une table.

On peut se rendre compte, par une analogie, de

Fig. 14.

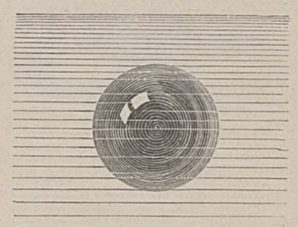


l'exactitude de ce raisonnement. Tous les écoliers savent confectionner de petits ballons en papier, pliés de telle manière qu'ils tiennent l'eau (*fig.* 14).

Un ballon de ce genre, capable de contenir un décilitre d'eau peut être rempli et jeté violemment en l'air sans se disjoindre; il ne crève que lorsqu'il frappe un objet dur, tandis qu'une boîte semblable, faite avec une feuille entière de journal, a peine à se maintenir lorsqu'elle est pleine. La seule différence de principe qui existe entre le cas de l'eau laissée à elle-même et de l'eau renfermée dans du papier réside dans la force relative des membranes et leur élasticité.

M. Plateau a indiqué une fort belle expérience

Fig. 15.

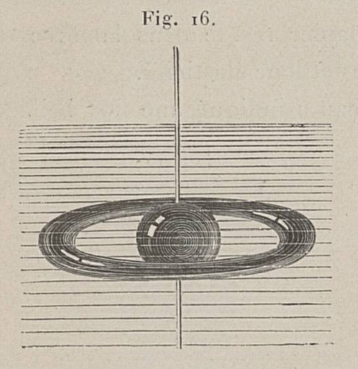


relative à ces phénomènes. On peut faire, avec de l'alcool et de l'eau, un mélange ayant la densité de l'huile, et dans lequel cette dernière reste en suspension. Lorsque j'introduis, au moyen d'un tube, une certaine quantité d'huile dans le mélange, on voit se former de grosses gouttes, parfaitement sphériques (*fig.* 15). A ce propos, je

désirerais vous faire observer un phénomène sur lequel j'aurai l'occasion de revenir. Lorsque je frappe les gouttes, elles se déforment, et reprennent peu à peu, en oscillant, leur forme primitive; les petites oscillent beaucoup plus rapidement que les grosses.

Après avoir obtenu une grosse sphère d'huile,

Fig. 16.



je la fais traverser en son centre par un axe que je fais tourner; l'huile suit le mouvement, la sphère s'aplatit, puis, au bout d'un instant, un anneau se détache (*fig.* 16); en augmentant encore la vitesse, l'anneau se brise en plusieurs tronçons qui prennent eux-mêmes la forme sphérique. Bien que les forces qui s'exercent entre les corps célestes soient totalement différentes de celles que je viens

de mettre en jeu, cette admirable expérience de Plateau rend très exactement compte de ce qui s'est passé dans la formation des mondes.

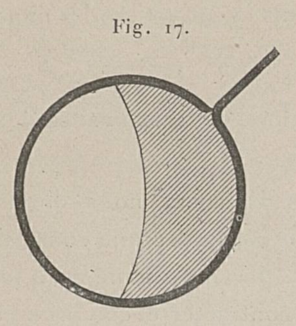
Élasticité des membranes liquides.

Les bulles de savon nous donnent un autre exemple d'un corps presque soustrait à l'effet de la pesanteur. La membrane qui forme la bulle cherche à se contracter et comprime l'air intérieur en prenant, pour la raison indiquée précédemment, la forme d'une sphère ; on peut faire osciller une bulle de savon comme une sphère liquide, et l'on observe aussi que les oscillations sont d'autant plus rapides que la bulle est plus petite.

Il est bien facile, du reste, de démontrer qu'une membrane liquide est élastique à la manière d'une feuille de caoutchouc. Je prends un anneau en fil de cuivre, sur lequel j'attache, aux extrémités d'un diamètre, un fil de soie non tendu; je plonge le tout dans de l'eau de savon, et, lorsque je l'en retire, l'anneau apparaît rempli par une mince membrane, sur laquelle le fil se meut librement; si, maintenant, je crève la membrane d'un côté du fil, celui-ci, tiré en arrière par la moitié restante,

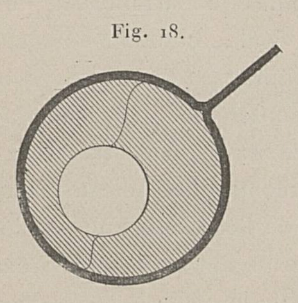
forme une courbe qui n'est autre qu'un arc de cercle; en effet, la pellicule d'eau de savon tend

Fig. 17.



à prendre une superficie aussi faible que possible, et à rendre le plus grand possible l'espace vide (*fig.* 17). Dans un second anneau, le fil est double sur une partie de sa longueur; en brisant la pelli-

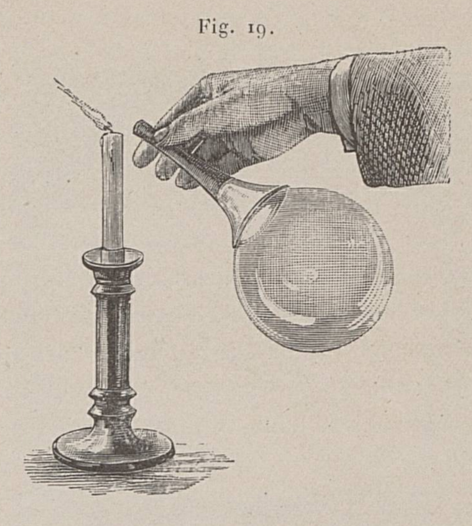
Fig. 18.



cule entre les deux fils, on les voit immédiatement former une circonférence parfaite (*fig.* 18). On

peut varier cette expérience de diverses manières : en faisant passer, dans des tubes rigides (des tiges de graminées, par exemple) un fil fin que l'on

Fig. 19.



noue ensuite, et en posant ce système sur une pellicule que l'on crève à l'intérieur, on voit l'ensemble des parties libres du fil se disposer suivant les arcs de la même circonférence dont les parties rectilignes forment les cordes (1).

Dans ces deux cas, bien que la figure ainsi obte-

(1) Cette belle démonstration expérimentale d'un théorème de Steiner est due à M. Schœntjes (1866).

nue ne puisse se déformer, elle peut se déplacer librement sur la pellicule.

Je souffle maintenant une bulle, et je la fixe sur un anneau de métal; j'y suspends un petit anneau et j'introduis un peu de fumée dans la bulle, que je crève ensuite à l'intérieur de l'anneau; aussitôt la bulle se contracte, chassant la fumée au dehors et soulevant l'anneau; ces deux actions nous montrent la nature élastique de la membrane; remarquons qu'une bulle de savon possède deux surfaces élastiques analogues à celle d'un liquide.

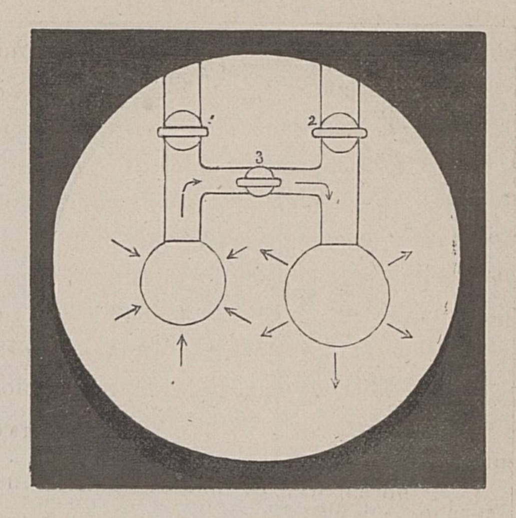
Si je produis une bulle à l'extrémité d'un petit entonnoir, l'air est chassé au dehors dès que je cesse de souffler; on le montre aisément en dirigeant le jet sur la flamme d'une bougie que l'on parvient à éteindre en se servant d'un entonnoir à goulot assez large (*fig.* 19).

La pression et la courbure.

Nous voyons qu'une bulle de savon agit sur l'air intérieur de manière à le comprimer. Nous ignorons *a priori* si une grosse bulle presse plus ou moins fort qu'une petite, mais il nous est facile de le voir. J'emploie, dans ce but, un appareil composé de deux tubes réunis transversalement par

un troisième (*fig.* 20); chacun d'eux est muni d'un robinet. Je souffle, à l'extrémité des tubes, des bulles inégales, que j'arrête au moyen des ro-

Fig. 20.

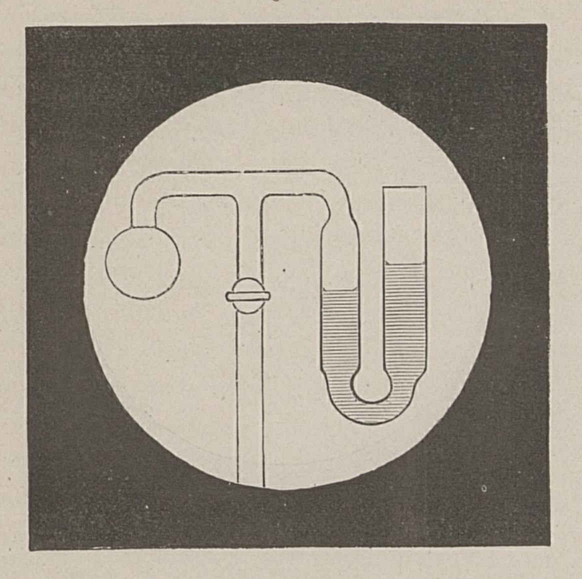


binets 1 et 2, puis j'ouvre le robinet 3; aussitôt, la petite bulle diminue et chasse de l'air dans la grande. J'insiste sur ce fait très important, que la pression est d'autant plus forte que la bulle est plus petite.

Nous pouvons trouver un résultat plus complet, à l'aide d'un appareil formé par un tube en T soudé

à un manomètre à deux branches (*fig.* 21). Par le tube inférieur, je souffle une bulle à l'extrémité du tube latéral; aussitôt le manomètre se dénivelle. Je

Fig. 21.



continue à souffler; le niveau tend à se rétablir; je laisse échapper l'air par intermittences, et le manomètre indique des pressions de plus en plus fortes; lorsque la bulle a diminué de moitié, la pression a doublé.

Comme la membrane est toujours tendue avec

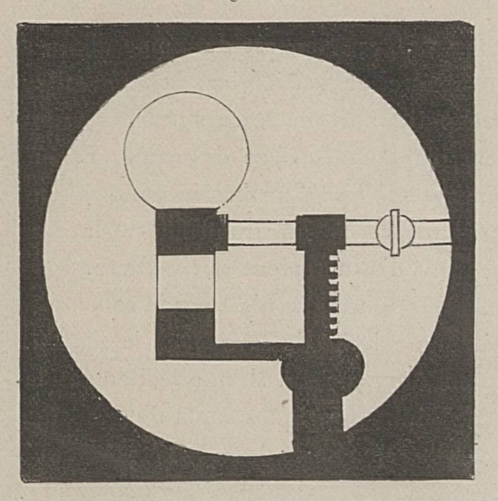
la même force, il est évident que la pression, à l'intérieur, ne peut dépendre que de la courbure de la bulle (*Voir* Note B).

Dans le cas des figures linéaires, nous disons que plus une circonférence est grande, plus sa courbure est faible; il en est de même d'une sphère, qui peut être, en particulier, d'une grandeur telle qu'une petite portion de sa surface paraisse absolument plane. La surface des eaux nous en donne un exemple; l'eau d'un bassin paraît plane; mais, si nous regardons un grand lac ou la mer, nous apercevons distinctement sa courbure.

La forme sphérique n'est pas la seule que puisse prendre une bulle de savon; en la tendant entre deux anneaux, on lui donne facilement la forme d'un cylindre. Quelques mots d'explication concernant la courbure des surfaces autres que la sphère ne seront pas inutiles. Vu de côté, un cylindre apparaît sans courbure; vu par la tranche, il paraît rond; or on démontre que la pression à l'intérieur d'une bulle dépend uniquement de sa courbure, quelle que soit sa forme. Si donc, nous trouvons, par expérience, la sphère capable d'équilibrer la pression d'un cylindre, nous connaîtrons la courbure de celui-ci. A chaque bout d'un tube en T, je souffle une bulle, et, à l'aide d'un autre tube, je

donne à l'une d'elles la forme approximative d'un cylindre (*fig.* 22), puis je souffle de l'air à l'intérieur jusqu'à ce que les côtés du cylindre soient parfai-

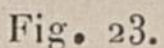
Fig. 22.

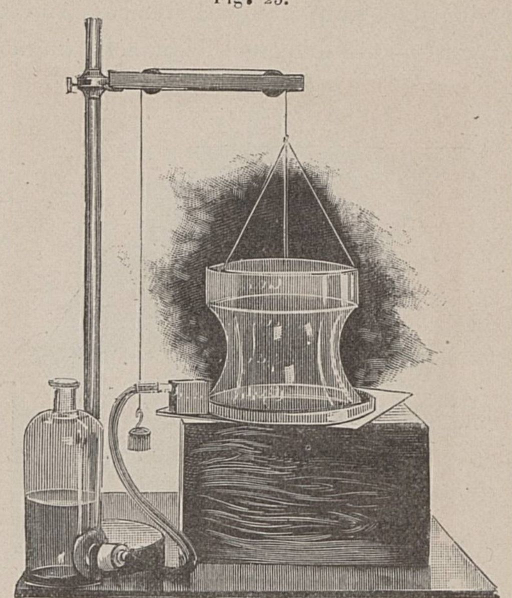


tement droits. Nous voyons alors que la sphère est double du cylindre qui lui fait équilibre ; une sphère a donc une courbure deux fois plus forte que celle d'un cylindre de même diamètre.

Remarquez, en passant, que le cylindre est court. Si je souffle de l'air à l'intérieur, que va-t-il arriver? La sphère se gonfle, et le cylindre s'étrangle ; tandis que la sphère grandit, le cylindre s'amincit

de plus en plus, en s'approchant d'une limite. J'annule la pression en crevant la bulle sphérique; la


Fig. 23.



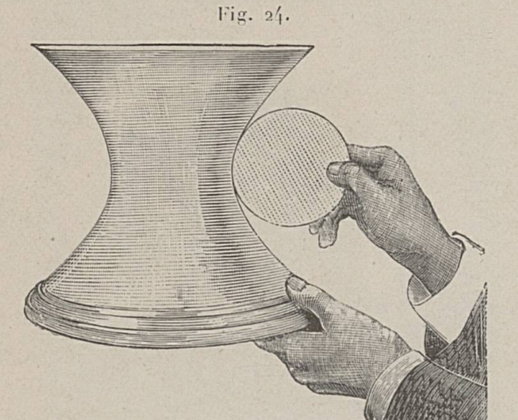
bulle restante ne devrait plus avoir de courbure, tandis qu'au contraire, nous la voyons courbée en dedans.

Je vais répéter l'expérience avec un appareil plus grand. J'établis une pellicule entre deux anneaux de verre (*fig.* 23); elle est courbée comme l'autre,

ce qui semble infirmer ce que nous disions tout à l'heure.

Le modèle en plâtre (*fig.* 24) nous aidera à résoudre cette contradiction. J'ai découpé un cercle en carton qui a exactement le diamètre du modèle

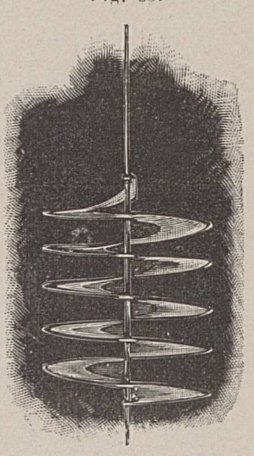
Fig. 24.



à sa partie la plus étroite; si je l'applique par le bord contre le modèle, je vois qu'il le suit exactement sur une petite étendue; nous en concluons qu'en cet endroit la surface est courbée également à l'intérieur et à l'extérieur dans deux directions perpendiculaires. La concavité intérieure augmente la pression, la concavité extérieure la diminue et,

comme les deux sont égales, la pression est nulle. Toutes les surfaces qui, comme celle-ci, ont en chaque point la même courbure dans deux directions rectangulaires sont nommées *surfaces de*

Fig. 25.



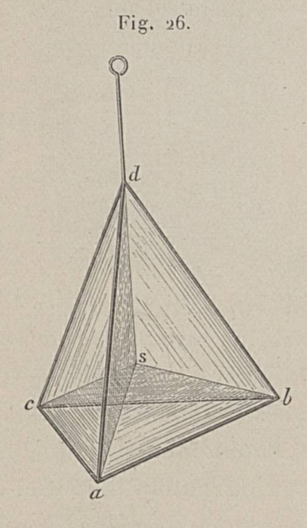
nulle courbure. La surface que nous venons d'étudier et qui, à l'exception du plan, est la seule de son espèce qui soit symétrique autour d'un axe, se nomme la *caténoïde*, parce qu'elle est engendrée par la rotation, autour d'un axe, de la courbe que forme une chaîne suspendue par ses deux extrémités.

Il existe une quantité d'autres surfaces de nulle

courbure qui ne sont pas de révolution; on les obtient en plongeant dans l'eau de savon une carcasse de fil de métal. L'hélice est une de ces surfaces; pour l'engendrer, il suffit de souder à un fil droit un autre fil contourné en pas de vis (*fig.* 25); il est impossible de rendre par un dessin la perfection de forme d'une pareille surface; mais chacun peut heureusement la réaliser sans peine.

On obtient de la même manière une foule de

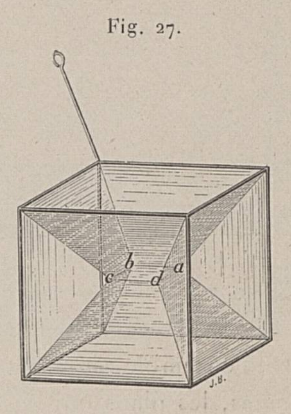
Fig. 26.



figures à faces planes, qui présentent les particularités suivantes : quelle que soit la complication de

la carcasse, on ne voit jamais plus de trois membranes se couper le long d'une arête, ou de quatre arêtes ou de six membranes se rencontrer en un point. Par exemple, dans le tétraèdre *abcd* (*fig.* 26), les six membranes partant des fils métalliques se rencontrent en *s*; de ce point rayonnent quatre arêtes, et, le long des lignes *as*, *bs*, *cs*, *ds*, se rencontrent

Fig. 27.

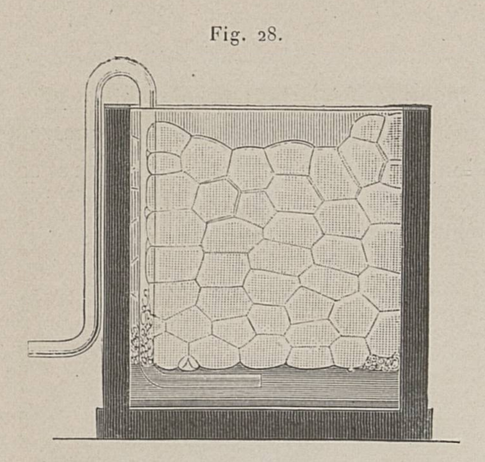


trois plans. Dans le cube (*fig.* 27), les points *a*, *b*, *c*, *d* jouent le même rôle que le point *s*.

On peut engendrer des systèmes très compliqués en insufflant de l'air dans de l'eau de savon. Toutes les particularités de ces systèmes peuvent être aisément observées, même les angles peuvent être mesurés, s'ils sont produits entre deux plaques

parallèles, comme le montre la *fig.* 28. Pendant la formation des bulles, on voit parfois un nombre

Fig. 28.



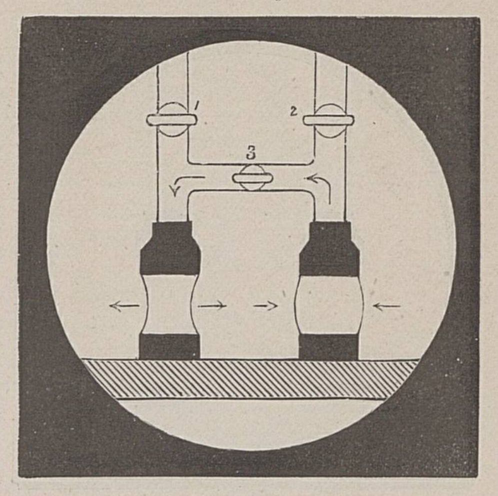
trop grand de membranes se rencontrer en un point ou le long d'une arête; mais l'une d'elles glisse aussitôt et l'ensemble redevient stable. Dans tous ces systèmes, les plans qui passent par une même arête s'y rencontrent sous des angles égaux.

Cylindres stables et instables.

Nous avons vu que la pression à l'intérieur d'un cylindre court diminue lorsqu'il se rétrécit, et

vice versa. Je puis, à l'aide de l'appareil qui nous a déjà servi, souffler deux bulles cylindriques, puis gonfler l'une et rétrécir l'autre, et, enfin, les mettre

Fig. 29.

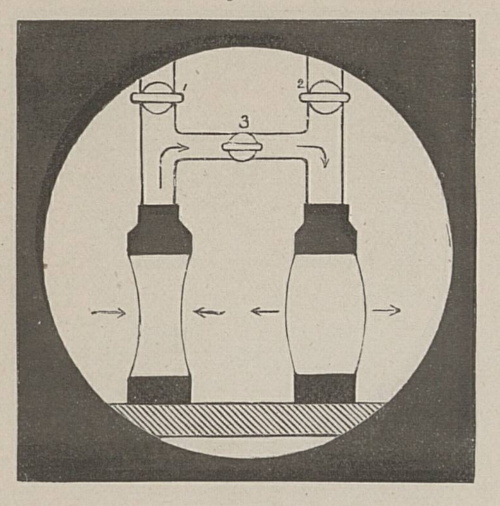


en communication (*fig.* 29) ; nous voyons que la bulle bombée se dégonfle au profit de la bulle étranglée.

Répétons l'expérience avec des cylindres dont la longueur est environ double du diamètre ; l'inverse a lieu, le cylindre rétréci s'étrangle davantage, et finit par se couper en deux (*fig.* 30). Les cylindres longs et courts se comportent donc d'une façon in-

verse. Si l'on faisait l'expérience avec des cylindres de diverses longueurs, on verrait que le changement se produit lorsque la longueur dépasse un

Fig. 30.

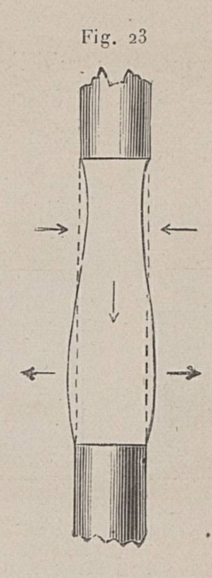


diamètre et demi, ou, plus exactement, lorsqu'elle est égale au demi-périmètre.

Plaçons bout à bout deux cylindres de la seconde catégorie ; en d'autres termes, formons une bulle cylindrique dont la longueur excède un peu le triple du diamètre ; il est aisé de voir que cette bulle est instable ; en effet, s'il se produit en un point quelconque le moindre élargissement ou le

moindre étranglement, l'irrégularité doit s'accentuer; la partie rétrécie chasse de l'air dans la partie élargie (*fig.* 31), jusqu'à ce que les parois se

Fig. 23



réunissent. On voit alors deux bulles sphériques inégales se former sur les deux tubes.

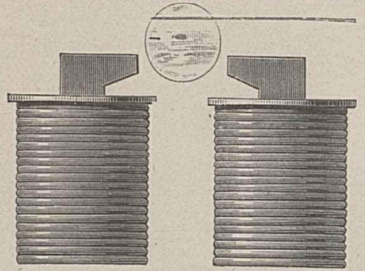
Le cylindre devient instable juste au moment où sa longueur est égale à son périmètre; lorsqu'il est un peu plus court, il est presque instable, et une déformation provoquée à une extrémité produit aussitôt la rupture.

Magnétisme de l'oxygène.

Cette propriété des cylindres instables peut servir à démontrer que l'oxygène est magnétique. Je veux d'abord vous montrer qu'il l'est très peu.

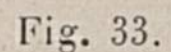
Je place, dans ce but, entre les pôles d'un électro-aimant puissant, et dans une position dissy-

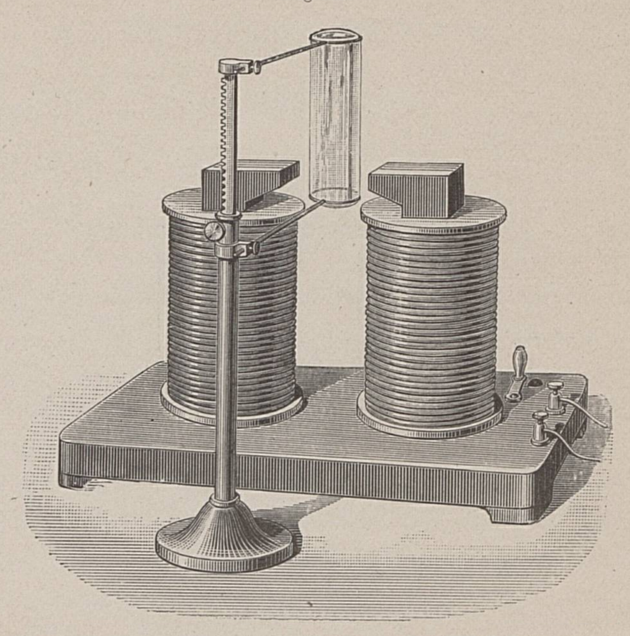
Fig. 32.



métrique une petite bulle de savon gonflée d'oxygène (*fig.* 32); lorsque j'établis ou romps le courant dans la bobine, on peut à la rigueur apercevoir un léger mouvement de la bulle, mais ce mouvement est très faible; or, comme la moindre action suffit pour déformer la bulle et la faire vibrer fortement, nous sommes certains que la force exercée par l'électro-aimant sur l'oxygène est extrêmement minime.

Cette première expérience nous montre l'importance d'un moyen d'investigation très délicat. Je place, entre les pôles de l'aimant, une nouvelle bulle

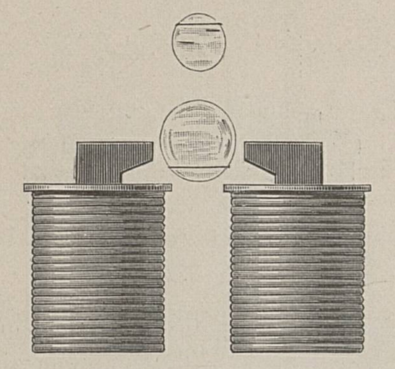

Fig. 33.



contenant une quantité d'oxygène que j'ai préalablement mesurée, et qui lui donne la grandeur exacte dont j'ai besoin. J'applique un anneau à la partie supérieure de la bulle que j'étire jusqu'à

ce que sa longueur soit à peu près égale à son pourtour; la position de l'anneau a été exactement réglée d'avance, et repérée sur la crémaillère (*fig.* 33). Je rétablis le courant, et, en un clin d'œil, la bulle

Fig. 34.



se sépare en deux autres inégales, la plus grosse étant attachée à l'anneau inférieur (*fig.* 34).

TROISIÈME CONFÉRENCE.

LA VEINE LIQUIDE.

Formation et oscillation des gouttes.

A la fin de la deuxième conférence, j'ai montré qu'une bulle cylindrique devient instable lorsque sa longueur dépasse son pourtour; la même relation subsiste lorsque la membrane, au lieu d'air, contient un liquide; il en résulte qu'un cylindre liquide, de grande longueur, formé brusquement, ne peut pas conserver sa forme; il se brise en une série de gouttes, si rapidement qu'il est impossible de voir la formation de chacune d'elles; mais on peut, par divers artifices, montrer ce qui se passe.

En neutralisant le poids du liquide à l'aide d'un autre de même densité, on obtient des gouttes aussi grosses que l'on veut, qui changent de forme beaucoup plus lentement que les petites.

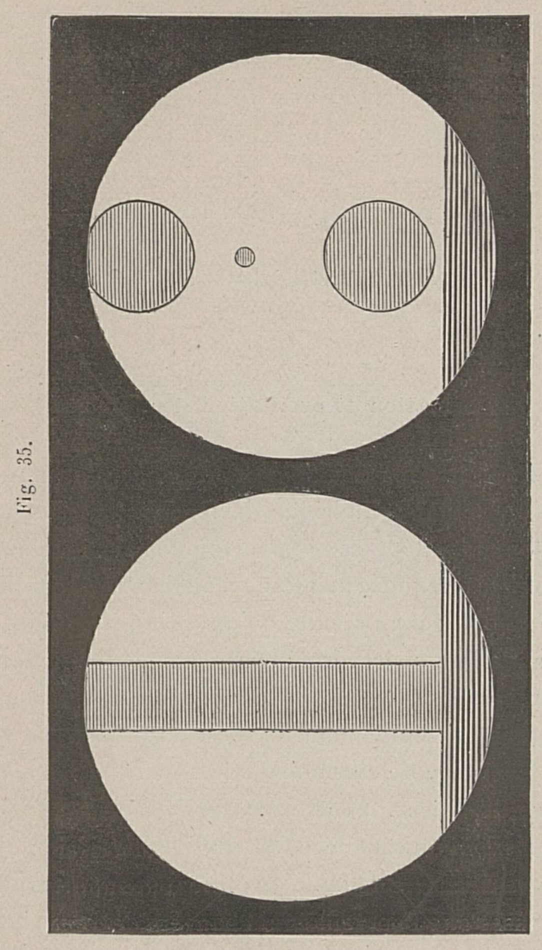


Fig. 35.

J'ai placé, dans une caisse de verre, de l'eau

colorée en bleu, sur laquelle nage un mélange de paraffine et de sulfure de carbone, à peine plus léger que l'eau. Je plonge dans l'eau un tube que je laisse se remplir, puis je le soulève en laissant s'échapper l'eau qu'il contient. A l'orifice, on voit se former des gouttes de la grosseur d'un sou, et, lorsque chacune d'elles a atteint sa pleine taille, elle se sépare, en tirant après elle un petit cylindre de liquide qui lui-même se ramasse en une goutte minuscule. Le phénomène se produit si lentement qu'on peut le suivre à l'œil nu.

J'ai pu exécuter, sur un disque tournant, une série de photographies de la goutte, distantes de moins de $\frac{1}{20}$ de seconde. La *Pl. I* donne un facsimilé réduit de cette photographie.

Je remplis de nouveau le tube avec de l'eau colorée, et je le retire rapidement du liquide. Il entraîne après lui un cylindre qui se rompt en bulles, comme le montre la *fig.* 35.

Ce que nous venons de voir pour un large cylindre se passe de même pour un cylindre filiforme, comme nous pouvons en faire journellement l'observation. La *fig.* 36 est une reproduction d'une photographie que j'ai prise d'une toile d'araignée; on voit immédiatement que le tissu se compose de deux espèces de fils; les uns sont droits et dirigés

suivant des rayons; les autres sont circulaires; les premiers sont raides et unis; les autres, plus élas-

Fig. 36.



tiques, sont couverts de perles d'un liquide visqueux. Dans une bonne toile d'araignée, il y a plus de 250000 de ces gouttelettes qui retiennent les mouches dont l'araignée se nourrit. Une araignée achève sa toile en une heure, et elle en re-

commence une presque chaque jour; il est évident qu'elle n'aurait jamais le temps de poser une à une les gouttes en question; mais, grâce au principe que je viens de vous démontrer et dont elle fait usage, elle abrège beaucoup son travail; en même temps qu'elle pose son fil, elle l'enduit d'un liquide gluant qui forme d'abord un cylindre, puis s'égrène le long du fil.

La *fig.* 37 montre, d'après une photographie faite au microscope, la constitution d'un fil enduit de liquide; les gouttes grosses et petites y sont alternées; quelques gouttes minuscules, irrégulièrement distribuées, se voient même entre les premières.

On peut se convaincre de l'exactitude de cette explication, en faisant une toile artificielle identique à celles des araignées. J'en ai fabriqué une avec du fil de quartz (*voir* Note C), que j'ai enduit, à l'aide d'un brin de paille, d'un peu d'huile de castor; elle a toutes les apparences d'une toile véritable, et prend les mouches avec la même facilité.

La rupture et la résolution en gouttes se produisent aussi bien pour un jet en mouvement que pour un cylindre en repos.

La *fig.* 38 représente la photographie agrandie

trois fois un quart d'un filet d'eau éclairé par une étincelle électrique; à mesure que l'on avance dans le jet, on voit la séparation en gouttes s'accentuer, et l'on distingue parfaitement la vibration des gouttes formées; pour une raison qui deviendra évidente par la suite de ces leçons, au moment où la photographie a été prise, je produisais un son aigu en soufflant dans une clef.

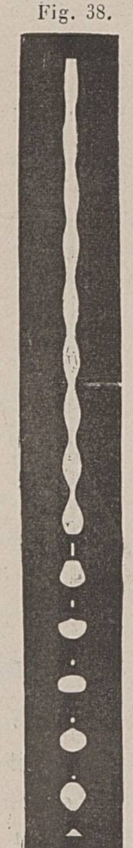
Fig. 37.

Lord Rayleigh a démontré que, dans un filet d'eau de 1^{mm} de diamètre, les étranglements imperceptibles qui s'y trouvent au début deviennent mille fois plus profonds en un quarantième de seconde; il est clair, d'après cela, que le jet doit être complètement rompu après un parcours très petit.

Le même physicien a donné la règle suivante pour calculer la durée de vibration d'une goutte d'eau : une sphère de 50^{mm} de diamètre effectue une vibration complète en une seconde; si le diamètre est réduit

au quart de sa grandeur, la durée d'oscillation n'est plus que le huitième de sa première valeur [1]. La même relation permet de calculer la durée de la rupture dans le cas d'un cylindre.

Fig. 38.



Les gouttes que les araignées déposent sur leur toile ont un diamètre inférieur à $0^{mm},03$; elles sont 1600 fois plus petites que la sphère qui vibre en une seconde : des gouttes d'eau de cette grosseur exécuteraient donc 64000 vibrations par seconde, tandis que, si elles avaient la grosseur des plus petites perles déposées par les araignées, elles effectueraient plus d'un demimillion d'oscillations par seconde, sous la simple force exercée par la membrane élastique de l'eau; nous voyons combien est puissant, dans certains cas, l'effet de cette membrane, que nous sommes habitués à considérer comme insignifiant.

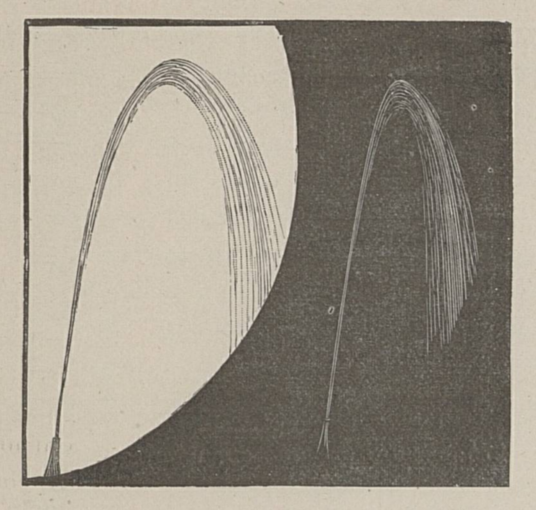
---

(1) C'est-à-dire que la durée d'oscillation est donnée par l'expression $\frac{1}{125} r^{\frac{3}{2}}$, l'unité étant le millimètre.

Séparation spontanée et rassemblement artificiel du jet.

Je mets en action un petit jet d'eau presque

Fig. 39.



vertical, que je projette sur un écran pour le rendre bien visible (*fig.* 39). L'eau s'échappe de l'orifice en un cylindre uni, qui se sépare bientôt en une multitude de gouttes réparties sur un large espace. Pourquoi les gouttes s'éparpillent-elles? Toute l'eau sort du tube de la même manière, et

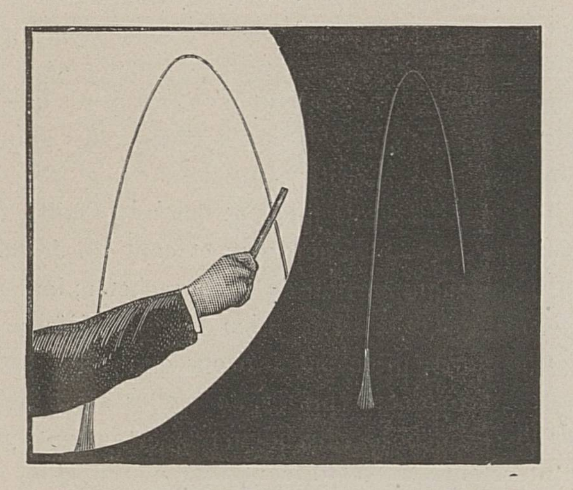
s'en va dans la même direction; les gouttes qui se forment nécessairement devraient, au moins, suivre la même trajectoire. Pour le moment, je me contente de signaler cette difficulté, que j'expliquerai tout à l'heure, après avoir montré des expériences qui nous rapprocheront de la vraie raison du phénomène. Ces expériences sont si singulières que l'imprudent qui les auraient montrées il y a quelques centaines d'années eût couru le plus grand danger d'être brûlé vif.

Les gouttes d'eau tombent sur une feuille de papier, qui rend un son mou et continu. Je tire de ma poche un bâton de cire à cacheter; immédiatement tout change; bien que je n'aie pas touché au jet d'eau, nous voyons que les gouttes cessent de se séparer (*fig.* 40); elles se suivent sur la même piste, et produisent, en tombant, un bruit retentissant et discontinu, qui rappelle les pluies d'orage. Je me rapproche encore du jet; les gouttes se séparent de nouveau, mais sont beaucoup plus grosses que tout à l'heure. Dès que je remets la cire dans ma poche, le jet reprend son premier aspect.

En faisant passer le jet par une flamme fuligineuse, telle qu'on l'obtient lorsqu'on brûle un morceau de ouate imbibé de benzine, il se ramasse,

et tombe en grosses gouttes noires sur le papier. On obtient le même effet en tenant dans le filet d'eau un fil de verre trempé dans l'huile.

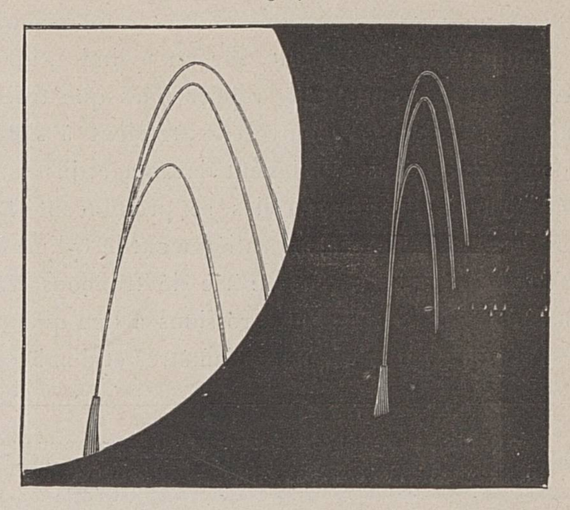
Fig. 40.



Je mets en vibration un diapason placé à l'autre bout de la salle; le jet n'éprouve aucun changement; mais, si j'appuie un bâton d'une part contre l'orifice, d'autre part contre la caisse de résonance du diapason, il se rassemble, et le papier sur lequel il tombe rend un son identique à celui du diapason. Si je modifie la vitesse d'écoulement de l'eau, l'apparence change de nouveau; on voit, par

instants, l'eau se séparer en deux ou trois lignes distinctes, comme si elle sortait de plusieurs orifices (*fig.* 41). Je vous montrerai plus tard, avec un

Fig. 41.



autre instrument, que des bruits très divers agissent sur le jet, et sont reproduits par les gouttes d'eau frappant une membrane; mais, auparavant, je vais essayer d'expliquer ce que nous venons de voir.

Théorie des phénomènes.

Vous vous souvenez que, lorsqu'un cylindre liquide atteint une longueur supérieure à son pourtour, il ne peut conserver sa forme et se résout en gouttes. Si l'on produit, sur un cylindre, une série de dépressions plus rapprochées que trois diamètres, certaines d'entre elles tendent à s'effacer; mais si elles s'éloignent davantage, jusqu'à excéder trois diamètres, elles se prononcent de plus en plus, et traversent entièrement le cylindre qu'elles découpent en une série de tronçons; le maximum d'effet de ces dépressions a lieu quand elles sont distantes de quatre diamètres et demi (1)

---

(1) Ce résultat n'est pas, comme on pourrait le croire au premier abord, une conséquence du fait qu'un cylindre liquide en repos devient instable lorsque sa longueur est égale à son pourtour; dans le cas d'un jet en mouvement, le problème est dynamique et nécessite, pour sa résolution, le concours de l'expérience et du calcul. Les premières recherches dans cette direction sont dues à Bidone, à Savart et à Magnus; la théorie des phénomènes a été ébauchée par Plateau, et beaucoup perfectionnée par lord Rayleigh, dans un important Mémoire auquel sont empruntés les résultats donnés plus haut (p. 61), sur les vibrations des gouttes d'eau. Voir LORD RAYLEIGH, *On the capillary Phenomena of Jets*. (*Proc. Royal Soc.*, 5 may 1879.)

(*Note du Trad.*)

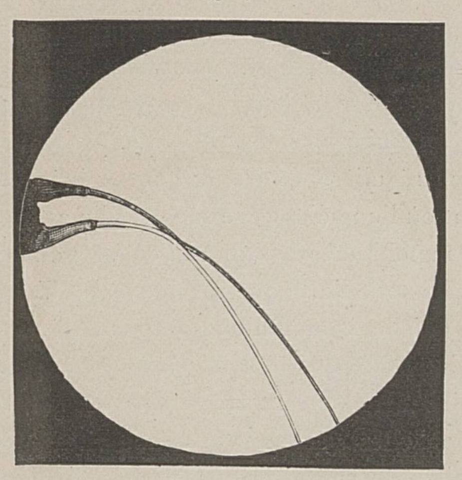
environ ; en d'autres termes, si le jet sort d'un orifice parfaitement immobile, il se coupe avec le maximum de facilité en des points espacés de quatre diamètres et demi, mais la rupture peut se produire en des points plus éloignés ou plus rapprochés si, par de petits mouvements communiqués au tube, on marque des empreintes à d'autres intervalles. Lorsqu'on maintient le tube aussi immobile que possible, il éprouve toujours de petites secousses accidentelles qui provoquent la rupture irrégulière du jet, en gouttes inégales. Au moment où l'une d'elles se sépare, elle est retenue par la membrane élastique à l'endroit où elle se rompt, de telle sorte que sa vitesse est diminuée, tandis qu'elle communique un peu de sa force vive à la goutte qui la suit; cette action est plus ou moins forte, suivant la grosseur des gouttes, et chacune d'elles s'échappe avec une vitesse qui est le résultat de ces diverses actions ; les gouttes, une fois lancées, s'entre-choquent et rebondissent l'une sur l'autre en s'éparpillant.

Quelle était l'action exercée par le bâton de cire ou la flamme fuligineuse? comment le diapason pouvait-il empêcher cette séparation des gouttes? Je vais essayer de l'expliquer.

Dans les circonstances ordinaires, les gouttes

qui s'entre-choquent ne se réunissent pas([1]); mais, lorsqu'elles sont soumises à l'influence d'un bâton de cire préalablement frotté sur un morceau de laine, elles s'électrisent, s'attirent, et cette attrac-

Fig. 42.



tion suffit pour briser la membrane qui les sépare, et les forcer à se réunir. Pour démontrer la réalité de cette explication, j'ai placé, devant l'appareil

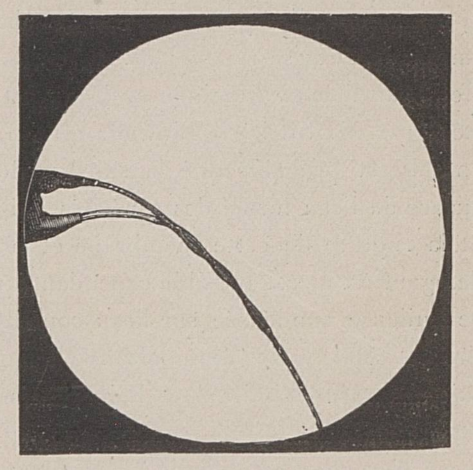
---

([1]) On voit de même, dans les fontaines, de petites gouttes, qui courent un instant à la surface avant de se mélanger à l'eau du bassin.

(*Note du Trad.*)

de projection, deux jets d'eau filtrée, venant de deux bouteilles séparées et se rencontrant sous un angle aigu; au lieu de se réunir comme on pourrait s'y attendre, ils rebondissent l'un sur l'autre, ce qui est rendu évident par la coloration communiquée à l'un des jets (*fig.* 42). Je m'éloigne de quelques mètres, et, au moment où je

Fig. 43.



retire le bâton de cire de ma poche, les jets se réunissent (*fig.* 43); ce dispositif, imaginé par lord Rayleigh, nous fournit un des moyens les plus sensibles pour déceler des traces d'électricité ou l'existence d'un champ électrique extrêmement faible.

La première expérience se comprend maintenant d'elle-même; puisque les gouttes se réunissent au lieu de rebondir, il n'y a plus de raison pour qu'elles s'échappent dans toutes les directions; elles suivent, après s'être rassemblées, le chemin moyen qu'elles auraient pris isolément si aucune action latérale n'était venue les déranger.

Lorsqu'on rapproche le bâton de cire de l'orifice, les gouttes s'électrisent au moment où elles se séparent, et, comme elles portent toutes des charges de même nom, elles se repoussent.

L'effet de la flamme fuligineuse, découvert dernièrement par M. Shelford Bidwell, est un peu différent; il est probable que la suie condensée à la surface de l'eau forme des aspérités qui produisent la rupture de cette membrane et la réunion des gouttes. Il est possible cependant que la matière huileuse condensée sur l'eau contribue à produire cet effet, puisqu'on l'observe lorsqu'on introduit des traces d'huile dans le jet; mais l'action de l'huile dans ce cas, comme celle qu'elle exerce sur les vagues, est difficile à expliquer (*Voir* Note D) [1].

---

[1] La réflexion des gouttes l'une sur l'autre est due à la tension superficielle; toute cause qui diminue celle-ci produit,

L'effet du diapason est aisé à expliquer : lorsqu'on le met en communication avec l'orifice du jet, les vibrations du premier se communiquent au second, et les dépressions se suivent à intervalles absolument réguliers. On peut disposer l'expérience de telle sorte que celles-ci soient distantes d'un pourtour et demi environ; il suffit, pour cela, de régler convenablement la vitesse d'écoulement qui correspond à un tube et à un diapason donnés. Mais, même pour un intervalle différent de celui qui donne le maximum d'action, à la condition qu'il soit supérieur au pourtour du jet, les gouttes se suivent de grandeur égale sur la même piste. Lorsque deux notes agissent ensemble, elles produisent chacune leur effet, et l'on voit deux chapelets distincts de gouttes de deux grosseurs différentes.

---

comme conséquence, une diminution du premier phénomène; or l'huile qui se tient à la surface des gouttes a une tension superficielle moitié moindre que celle de l'eau; il paraît donc y avoir là une des causes du phénomène, sinon la seule.

(*Note du Trad.*)

Cette opinion reçoit une nouvelle confirmation du fait que les jets se réunissent si l'on débouche une bouteille d'éther dans le voisinage de l'endroit où ils se rencontrent.

C.-V. B.

La *fig.* 44 reproduit une photographie instantanée d'une fontaine musicale triple; on voit, à l'endroit marqué d'une croix, deux gouttes qui se choquent et suivent, après cela, des chemins différents; les petites gouttes qui passent d'abord au-dessus des autres jets subissent une impulsion analogue d'un des systèmes de grosses gouttes; mais l'endroit du choc systématique se trouve en dehors de l'épreuve, et l'on n'en a pas gardé la trace.

Les très petites gouttes dont il a déjà été question se forment aussi; mais elles sont généralement rejetées latéralement, et s'écartent du jet à une certaine distance de l'orifice; cependant, il est aisé de voir qu'elles sont déjà formées avant le moment où elles deviennent apparentes; il suffit, pour cela, de promener un bâton de cire électrisé le long du jet; lorsqu'il arrive à l'endroit où les petites gouttes se forment, il agit sur elles plus puissamment que sur les autres, et les attire hors de leur chemin; elles décrivent alors, autour du bâton, de petites orbites, comme celles des planètes; mais, dans notre cas, la résistance de l'air diminue rapidement leur vitesse, et, après avoir fait quelques tours en spirale, elles tombent sur le bâton ainsi que les planètes tomberaient sur le Soleil, si elles éprouvaient une résistance à leur mouvement. Dans

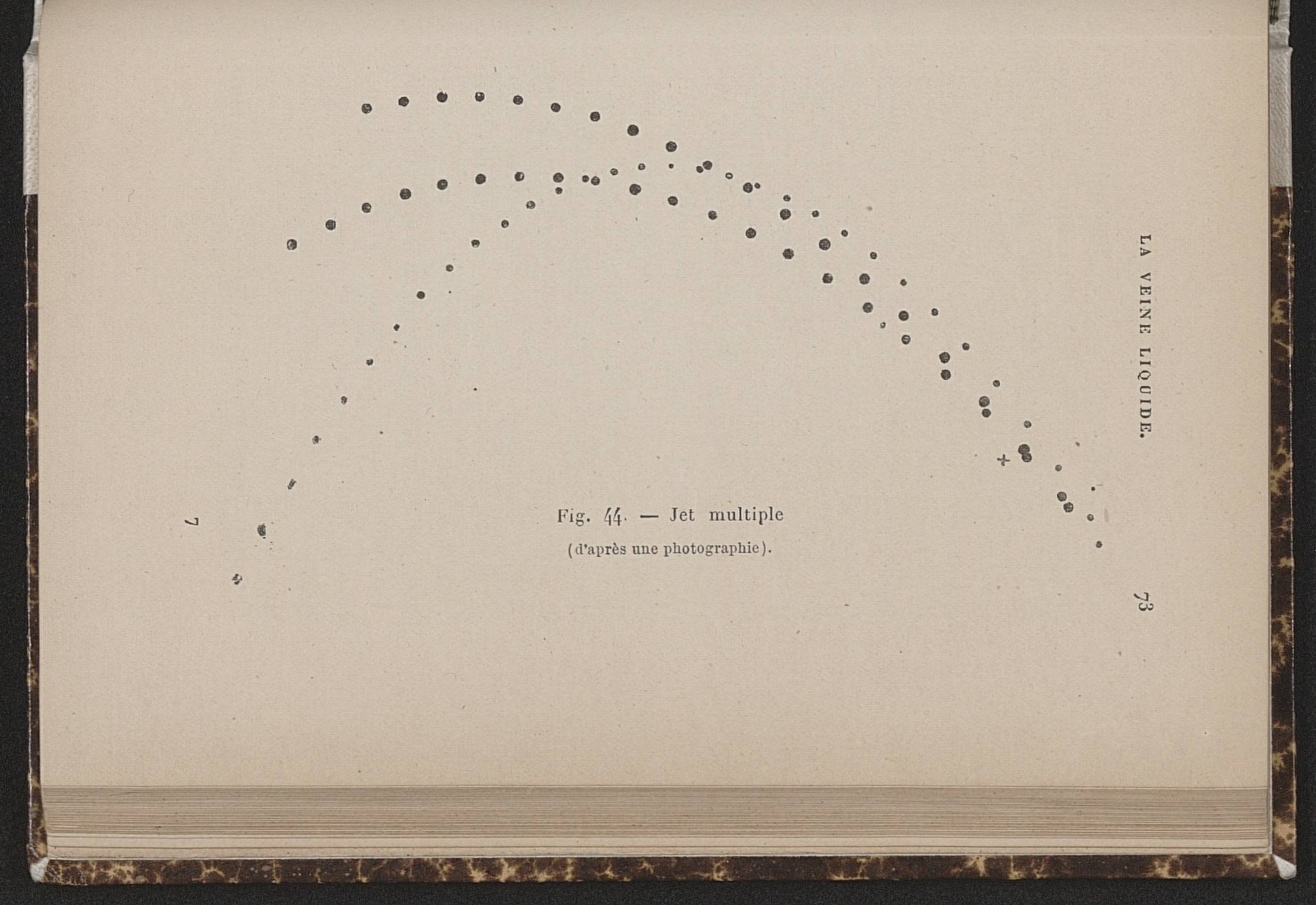


Fig. 44. — Jet multiple
(d'après une photographie).

le cas où le bâton de cire est dissymétrique par rapport au jet, les gouttelettes ne restent pas dans un plan, mais décrivent des hélices qui vont en se rétrécissant, et sont du plus joli effet.

Les explications que je viens de donner, à propos de la photographie du jet musical, étaient nécessaires pour la compréhension exacte des phénomènes; mais il est plus intéressant de voir, en réalité, les gouttes immobiles sur leur trajectoire. Bien qu'à la rigueur il suffise, pour cela, de les éclairer par des étincelles électriques, nous n'aurons pas recours à ce procédé, qui ne donne qu'une vision fort imparfaite. Au lieu de produire une seule lueur, on peut répéter cet éclairage intermittent de telle sorte que chaque trait de lumière se produise à l'instant même où chaque goutte occupe la position dans laquelle se trouvait la goutte précédente au moment où elle a été éclairée; alors, malgré leur mouvement rapide, les gouttes paraissent en repos. Lorsque l'appareil n'est pas exactement réglé, il se produit de singuliers effets. Supposons que les lueurs se succèdent trop rapidement: chaque goutte sera vue en arrière de la précédente, et le chapelet semblera remonter vers son origine, et *vice versa*.

L'expérience est facile à exécuter. Je rassemble

en un foyer la lumière envoyée par un projecteur électrique, et, après l'avoir diaphragmée au travers d'un carton, je l'emploie à projeter le jet sur l'écran (*voir* frontispice); derrière le carton, se trouve un petit électromoteur qui entraîne un disque portant six échancrures, et qui, dans son mouvement, intercepte six fois par tour le faisceau lumineux. Le diapason que j'emploie effectue 128 vibrations simples par seconde, et, lorsque le disque fait 21 tours $\frac{1}{3}$ dans ce même temps, les éclats se produisent toujours au même moment de la vibration. Je mets le moteur en marche, puis je souffle sur la carte; lorsque j'obtiens un son identique à celui du diapason, je sais que la vitesse voulue est atteinte. J'ai placé le diapason sur le parcours du faisceau lumineux; j'arrête d'abord le moteur, et l'on ne peut voir sur l'écran qu'une image confuse du diapason; je remets le moteur en marche; au bout d'un instant, il semble que le mouvement du diapason se ralentit; puis il s'arrête tout à fait, pour recommencer de nouveau à exécuter de lentes oscillations; cependant le son constant qu'il rend nous avertit que sa vitesse n'a pas changé; je règle le moteur en me guidant sur l'ombre du diapason, puis je mets le jet en mouvement; on voit alors, sur l'écran, les gouttes sta-

tionnaires et semblables à des perles fixées à un fil invisible; je diminue la vitesse du moteur, et il semble que le jet marche en avant; il est très curieux de voir chaque goutte se séparer et laisser derrière elle un étranglement qui forme lui-même une gouttelette; la goutte principale, une fois libérée, oscille lentement. En ce moment la carte tourne trop vite, et l'on voit les gouttes se mouvoir à reculons, quittant la cuvette et rentrant dans l'orifice; pour se convaincre que le phénomène ne se produit pas de cette manière, il suffit de placer son doigt sur le parcours du jet, qui éclabousse dans toutes les directions. Je veux encore faire remarquer que, chaque fois que la carte gagne ou perd un éclat sur le diapason, celui-ci paraît exécuter une oscillation, et les gouttes semblent se déplacer d'un rang en arrière ou en avant.

Microphone hydraulique.

J'en arrive à l'une des plus belles applications des jets musicaux; elle est due, avec beaucoup d'autres, à M. Chichester Bell, cousin de M. Graham Bell, l'illustre inventeur du téléphone.

Je fais tomber un filet d'eau s'échappant, sous forte pression, d'un orifice très petit, sur une mem-

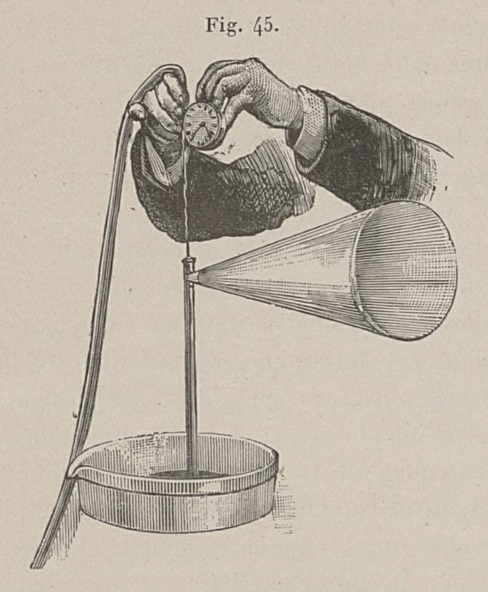
brane de caoutchouc tendue à l'extrémité d'un tube de la grosseur du petit doigt; la membrane est déprimée par l'eau, mais, tant que l'orifice n'est pas trop loin du caoutchouc, celui-ci s'enfonce d'une quantité constante, et l'on n'entend aucun bruit; si j'élève le tube, les inégalités du jet deviennent évidentes; lorsqu'un étranglement arrive sur le caoutchouc, celui-ci revient en arrière, tandis qu'il est repoussé plus fortement lorsqu'il est pressé par une plus grande masse d'eau; chaque vibration communiquée à la veine augmente sur son parcours, produit des inégalités qui sont ressenties par la membrane. Il est aisé de comprendre que les vibrations sont considérablement amplifiées, et que l'ensemble du filet d'eau et de la membrane constitue un appareil qui augmente l'intensité du son.

Je rapproche un peu l'orifice de la membrane; on n'entend plus rien; puis j'applique une planchette contre le tube; aussitôt la membrane se met à chanter en donnant une note aiguë, qui peut être celle que rend la planchette lorsqu'on la frappe, ou bien une de celles que donne naturellement la membrane, ou encore la note propre du tube; les premières vibrations qui lui ont été communiquées par hasard par de petites inégalités de la veine, ont été, en retour, rendues au tube, sui-

vant un rythme bien déterminé ; le jet a commencé à donner le son propre d'un organe de l'appareil qui a été entretenu ainsi dans un état vibratoire permanent.

Je remplace maintenant le morceau de bois par

Fig. 45.



une montre à ancre ; les secousses dues à chaque tic-tac se communiquent au tube et à la membrane et deviennent perceptibles à tout un auditoire (*fig.* 45) ; à mesure que j'élève le tube, elles

deviennent de plus en plus fortes, et ressemblent plutôt au bruit d'un marteau frappant une enclume qu'au tic-tac d'une montre. En faisant sonner, contre le tube, une montre à répétition, on entend non seulement les coups, mais même le timbre exact de la sonnerie.

Je puis aussi forcer mon appareil à jouer une mélodie; pour cela, j'appuie contre le tube un long bâton pressé d'autre part contre une boîte à musique, soigneusement enfermée dans une double enveloppe de feutre; au moment où le jet frappe la membrane, la boîte à musique est entendue dans toute la salle. On a coutume de dire que l'on fait jouer un jet d'eau : pour qui connaît ce nouveau microphone, le mot est à double entente.

Dans cette expérience, on remarque une particularité que l'on eût pu prévoir; la veine se rompt à certains intervalles de préférence à d'autres, et, par conséquent, elle rend certains sons mieux que d'autres; plusieurs notes de la boîte à musique sont amplifiées et produisent l'effet que l'on observe lorsqu'on place une pièce de monnaie sur les cordes hautes d'un piano à queue.

QUATRIÈME CONFÉRENCE.

PERMÉABILITÉ ET CONTACT DES BULLES DE SAVON.

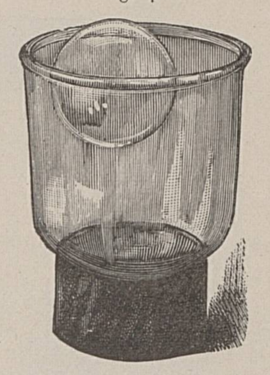
Passage de la vapeur d'éther à travers une membrane.

Comme nous l'avons vu dans la deuxième Conférence, l'air contenu dans une bulle de savon est soumis à une pression, due à l'élasticité de la pellicule, et dépendant de sa courbure. Si l'air pouvait passer d'un côté à l'autre de la membrane, la bulle ne tarderait pas à se vider. Mais il n'y a pas de trous dans la pellicule, et l'on ne pourrait guère s'attendre à ce qu'un gaz s'en échappe. Cependant, certains gaz peuvent passer lentement au travers, et, dans le cas de quelques vapeurs, le phénomène est beaucoup plus rapide qu'on ne le croirait.

L'éther produit une vapeur lourde et très inflammable, qui traverse facilement la membrane d'eau de savon. Pour le montrer, je verse quelques

gouttes d'éther sur du papier buvard placé dans une cloche dont l'ouverture est tournée vers le haut ; elle se remplit rapidement de vapeur, ce que l'on constate aisément, en penchant la cloche sur le parcours du faisceau lumineux qui sert aux pro-

Fig. 46.



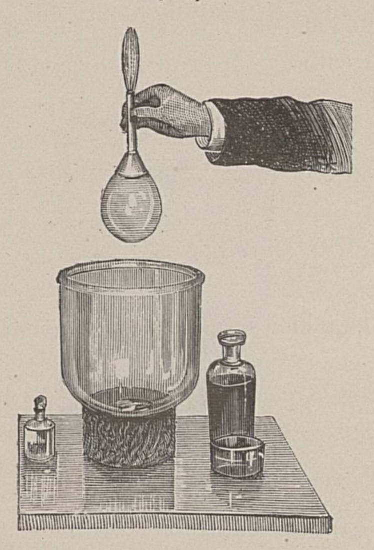
jections; la vapeur d'éther qui s'écoule produit, sur l'écran, une ombre bien visible.

Je laisse maintenant descendre une bulle dans la cloche; nous la voyons tomber, puis, lorsqu'elle arrive dans la vapeur d'éther, ralentir son mouvement, et enfin s'arrêter tout à fait; elle nage sur la vapeur, comme un morceau de liège sur l'eau (*fig.* 46).

Je reprends la bulle sur un anneau de métal, et, au moment où je l'approche d'une bougie, elle

éclate en produisant une lueur subite. Nous en concluons que la bulle s'est remplie de vapeur. On pourrait, il est vrai, objecter que l'éther s'est seu-

Fig. 47.



lement condensé à la surface de la bulle, et a suffi à produire cette petite explosion. Il est facile de montrer que tel n'est pas le cas. En effet, si je gonfle une bulle avec de l'oxygène, l'explosion est beaucoup renforcée, et peut être comparée au coup d'un petit pistolet; mais l'expérience suivante est encore plus concluante. Je plonge dans

la vapeur d'éther une bulle soufflée à l'extrémité d'un petit entonnoir, dont je tiens le goulot fermé avec le doigt; lorsque je l'en retire, la bulle s'allonge et reste suspendue comme une goutte lourde; j'enlève mon doigt de l'extrémité du tube, et j'approche celui-ci d'une bougie; la vapeur en s'échappant s'allume, et brûle en formant une flamme longue de 10^{cm} à 15^{cm} (*fig.* 47). Au moment où j'ai retiré les bulles de la cloche, on aurait pu voir, sur l'écran, un lourd courant qui en descendait, montrant que la vapeur d'éther s'échappait de nouveau à travers leurs parois ([1]).

Contact apparent des membranes.

Dans les expériences avec les gouttes d'huile, comme dans celles des jets d'eau, j'ai montré que des sphérules qui arrivent au contact ne se réunissent pas, mais paraissent séparées par une mince couche de matière dont nous ne pouvons définir la nature. Nous pouvons répéter cette expérience

---

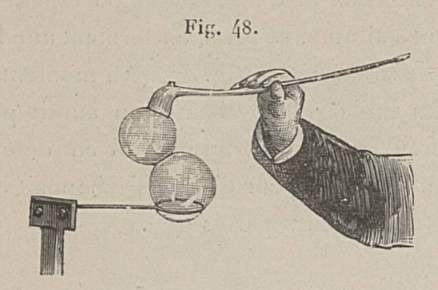
([1]) Il ne faudrait pas se méprendre sur la nature de ce passage de la vapeur d'éther à travers une membrane liquide; en réalité, l'éther est dissous par l'eau, il traverse la membrane sous forme de solution, et s'évapore de l'autre côté.

(*Note du Trad.*)

avec des bulles de savon. J'ai placé une première bulle sur un anneau, et j'en souffle une seconde au bout d'une pipe; je puis les presser l'une contre l'autre, elles restent séparées (*fig.* 48).

Je place une nouvelle bulle sur un anneau trop

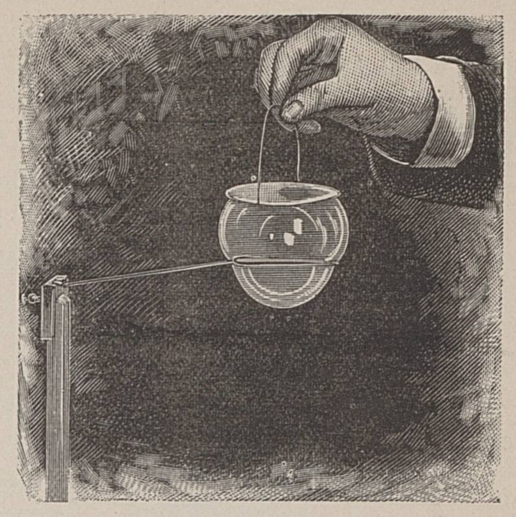
Fig. 48.



étroit pour la laisser passer ; d'autre part, je tiens un anneau portant une membrane obtenue en crevant une bulle que j'avais déposée sur lui; si je presse doucement la bulle avec la membrane, je puis la faire passer à travers l'anneau (*fig.* 49), et cependant les deux membranes ne se sont pas réunies.

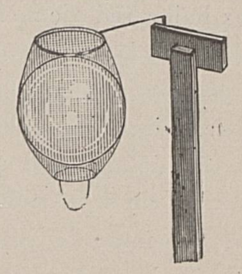
Cette expérience peut être variée de bien des façons. Je suspends une bulle à un anneau, puis je fixe à la bulle une autre petite bague, qui lui donne une forme allongée; j'introduis un tube à travers l'anneau supérieur, et je souffle une bulle qui tombe doucement et se pose sur la bulle exté-

Fig. 49.



rieure, le long d'un cercle situé à une certaine

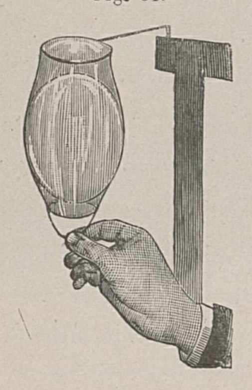
Fig. 50.



hauteur (*fig.* 50); enfin, j'enlève les gouttes lourdes

qui se sont rassemblées à la partie inférieure des bulles. Je puis maintenant exercer une légère traction sur l'anneau inférieur, et allonger la bulle extérieure qui comprime l'autre de manière à lui donner une forme ovoïde (*fig.* 51). J'enlève l'an-

Fig. 51.



neau, et les deux bulles redeviennent parfaitement rondes. Je retire l'air de la bulle extérieure, jusqu'à ce qu'on voie à peine un intervalle entre les membranes, puis j'introduis de nouveau de l'air et, en soufflant un peu fort, je montre d'une manière évidente que les bulles ne se touchent pas; la bulle intérieure tourne au centre de l'autre, et, lorsque je crève celle-ci, elle s'envole comme si elle n'avait pas été traitée d'une façon particulière.

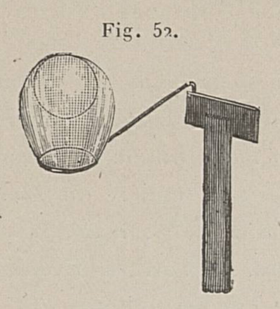
Les expériences que je viens de montrer deviennent très brillantes si l'on forme la bulle intérieure avec de l'eau de savon dans laquelle on a dissous une petite quantité d'une matière colorante nommée fluorescéine, tandis que la bulle extérieure est faite comme à l'ordinaire. En éclairant les bulles à la lumière du gaz, on remarque à peine une différence; mais, si l'on emploie la lumière solaire, ou l'arc électrique, la bulle intérieure devient d'un vert lumineux, tandis que l'autre reste aussi transparente qu'auparavant. La couleur ne passe pas du tout de l'une à l'autre, ce qui nous donne une nouvelle preuve qu'elles ne se touchent pas.

Je gonfle maintenant une bulle avec du gaz d'éclairage, et je la fixe sur un anneau; et tandis qu'elle se dirige aussitôt en haut, elle revêt une forme très gracieuse, dans laquelle nous retrouvons exactement le profil d'une goutte d'eau suspendue à un tube; la membrane ne reste pas longtemps capable de supporter la traction, et la bulle s'envole comme une goutte d'eau se détache de son orifice.

Je place sur un anneau une bulle remplie d'air, et je souffle à son intérieur une autre bulle contenant un mélange d'air et de gaz d'éclairage, qui la

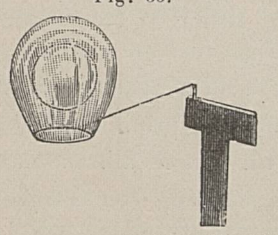
maintient au sommet de la première bulle (*fig.* 52).

Fig. 52.



J'introduis du gaz dans celle-ci, et bientôt nous voyons la bulle intérieure redescendre et flotter au centre de l'autre, comme une goutte d'huile dans l'alcool dilué (*fig.* 53); on peut voir que la bulle

Fig. 53.



intérieure est plus légère que l'air, car, si je crève la bulle extérieure, la première s'envole au plafond.

Au lieu de souffler la première bulle sur un anneau fixe, je la pose sur un petit anneau léger,

fait avec du fil métallique très fin; puis je forme une bulle intérieure remplie de gaz d'éclairage, et

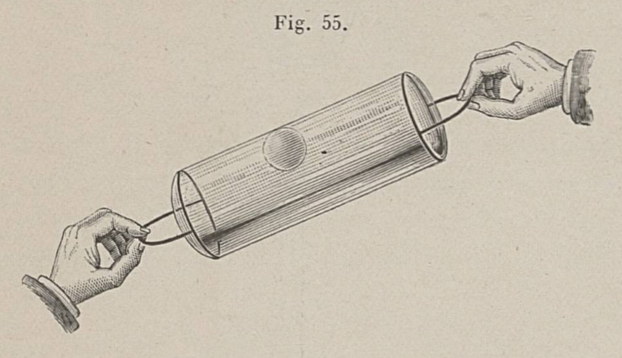
Fig. 54.



nous la voyons presser son enveloppe avec une force telle qu'elle soulève l'anneau, puis un fil d'un mètre de longueur et enfin un morceau de papier que j'y ai fixé (*fig.* 54).

Je vais montrer, d'une manière peut-être encore plus frappante, que deux bulles peuvent rouler l'une sur l'autre sans arriver au contact. Je dépose de nouveau une bulle remplie d'air sur un anneau rigide, et j'introduis dans son intérieur une petite bulle pleine de gaz d'éclairage; puis je reprends la bulle

Fig. 55.

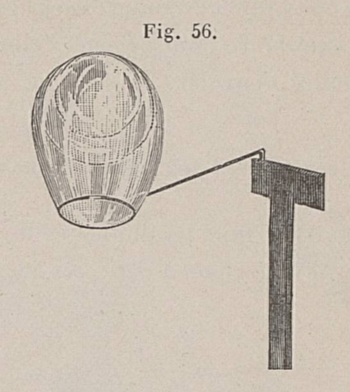


extérieure avec un autre anneau, et je l'allonge de manière à en former un cylindre; cela fait, j'élève alternativement les deux extrémités du cylindre; on voit alors la petite bulle rouler d'un bout à l'autre comme une bille dans un tube (*fig.* 55).

Toutes les expériences que je viens de vous montrer nous enseignent que, dans les circonstances ordinaires, deux bulles d'une forme quelconque peuvent être pressées l'une contre l'autre sans que les deux membranes voisines arrivent

réellement en contact; avant de tirer de nouvelles conclusions de ce fait, je voudrais montrer une expérience qui ne nous apprendra pas grand'chose de nouveau, mais qui mettra devant nos yeux un des plus beaux spectacles qu'un géomètre puisse rêver.

Fig. 56.



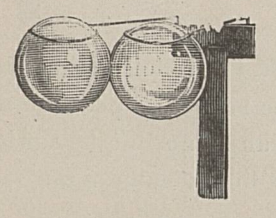
Dans ce but, j'introduis, à l'intérieur d'une bulle posée sur une bague, un petit anneau léger fixé à l'extrémité d'un fil métallique, sur lequel je souffle une nouvelle bulle; enfin, j'introduis dans cette dernière une troisième bulle pleine de gaz, qui se fixe au sommet de son enveloppe. J'allège un peu la seconde bulle en introduisant du gaz d'éclairage dans son intérieur, puis j'agrandis la bulle extérieure avec de l'air, enfin je retire l'anneau intérieur (*fig.* 56). A ce moment, les trois bulles apparais-

sent dans leur admirable forme d'équilibre, rendue plus nette par les réflexions multiples qui se produisent de l'une à l'autre, et le tout offre un degré de symétrie et d'éclat qu'il est difficile de reproduire par aucun autre procédé. Il suffit maintenant de souffler une bulle en contact réel avec l'anneau et la bulle extérieure pour dégager celle-ci, et voir nos trois bulles s'envoler.

L'électricité et les bulles de savon.

Nous avons vu que les bulles et les gouttes se comportent d'une façon à peu près identique; on

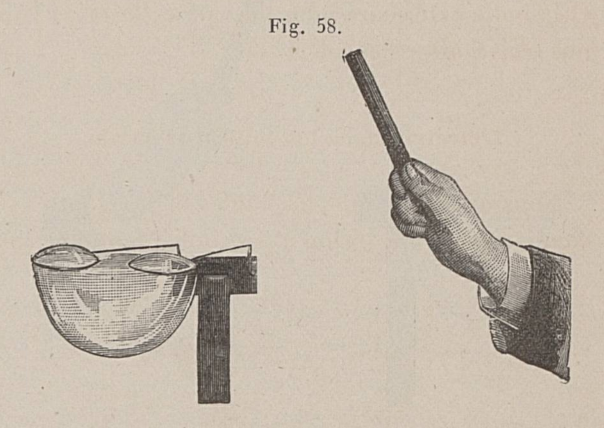
Fig. 57.



peut se demander si l'électricité produit sur les premières les effets que nous avons déjà constatés dans les jets d'eau. Nous allons consulter l'expérience; après avoir appuyé l'une contre l'autre deux bulles suspendues à des anneaux (*fig.* 57), je pré-

sente un bâton de cire électrisé; aussitôt les bulles se réunissent et n'en forment plus qu'une (*fig.* 58); nous en concluons que deux bulles en contact peuvent, comme un jet d'eau, servir d'électroscope. Mais, dans le cas présent, nous pouvons aller plus loin, et nous servir des bulles de savon pour dé-

Fig. 58.

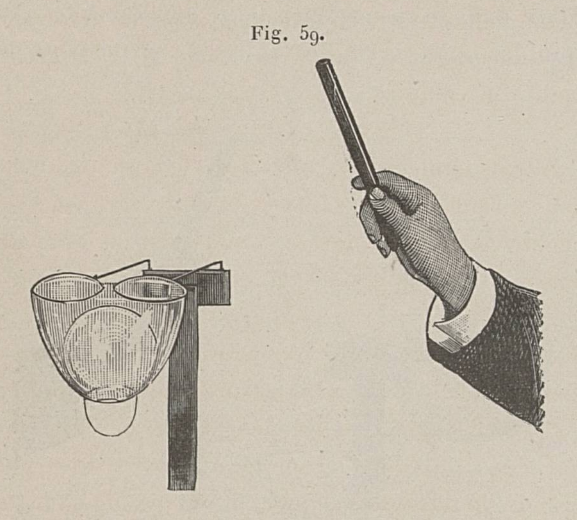


montrer par l'expérience un théorème très important de l'électricité.

Je reprends les bulles qui nous ont servi dans une expérience précédente (*fig.* 51), et je les soumets à l'action du bâton de cire; je puis approcher celui-ci de manière à dévier fortement la bulle extérieure de sa position d'équilibre, et, quoique les bulles soient si près l'une de l'autre qu'il est impossible de

voir entre elles, on n'observe aucun effet sur la bulle intérieure, et les membranes restent séparées. S'il y avait eu la plus faible influence électrique, à une profondeur égale à une fraction de millième de mil-

Fig. 59.



limètre, les deux bulles se seraient réunies instantanément : Nous en concluons que cette action ne pénètre pas à l'intérieur des conducteurs.

Pour terminer, je vais réunir les deux dernières expériences en une seule, de manière à montrer d'une manière plus frappante la différence qui existe, au point de vue électrique, entre deux bulles, l'une intérieure et l'autre extérieure. J'approche

une troisième bulle de celles que je viens d'employer; dès qu'elles sont soumises à l'action du bâton de cire, les deux bulles extérieures se réunissent, tandis que celle qui se trouvait à l'intérieur de l'une d'elles reste à l'intérieur sans se déformer, et l'anneau glisse à la partie inférieure de la grosse bulle qui vient de se produire (*fig.* 59).

Nous sommes arrivés au terme de nos entretiens; mais, avant de nous séparer, je désirerais vous demander si l'admiration que nous éprouvions tous lorsque nous jouions avec des bulles de savon a été amoindrie par la connaissance plus complète que nous avons de leur constitution. Les phénomènes de la capillarité que nous venons d'étudier, les plus fréquents et les plus banals en apparence que nous puissions observer, ont occupé les plus grands philosophes depuis le temps de Newton jusqu'à nos jours, et vous conviendrez avec moi, je l'espère, qu'ils méritent bien, de notre part, un moment d'attention.

INDICATIONS RELATIVES

AUX EXPÉRIENCES DÉCRITES.

J'espère que les quelques conseils rassemblés ici épargneront des tâtonnements à ceux qui voudront répéter les expériences décrites dans cet Ouvrage, et engageront quelques-uns de mes lecteurs à les tenter.

Gouttes artificielles à surface de caoutchouc.

L'outre élastique est constituée par une feuille de caoutchouc, de l'épaisseur de celui qu'on emploie pour confectionner les petits ballons d'enfants; cette feuille, tendue sur un anneau de bois de 40^{cm} à 50^{cm} de diamètre, est fortement ligaturée par un fil métallique faisant le tour de l'anneau, et pressant la feuille dans une gorge circulaire. Cette expérience, montrée pour la première fois par sir W. Thomson à l'Institution Royale, ne réussit que lorsqu'elle est faite à une échelle suffisante.

Toile métallique sur l'eau.

On fait passer un fil métallique de 1^{mm} par les deux trous d'une boule de pipette, ou d'un globe étamé tel que ceux qui servent à orner les arbres de Noël, et l'on coule un peu de cire dans les trous de manière à les boucher complètement. A quelques centimètres au-dessus du globe, on soude, perpendiculairement au fil, un carré de toile métallique fine, et on leste le tout en fixant un morceau de plomb à l'autre extrémité du fil; enfin, on racle le plomb jusqu'à ce que la toile ait tendance à traverser la surface, mais sans pouvoir s'en séparer. Les dimensions de l'appareil sont sans importance.

Filtre paraffiné.

On découpe, dans une toile de cuivre dont les mailles ont 1^{mm} environ, un morceau rond de 20^{cm} de diamètre, et on le place sur l'extrémité d'un cylindre qu'il déborde de toutes parts de 2^{cm} à 3^{cm}; puis on abaisse graduellement le pourtour, en maintenant le fond bien plat; grâce à la torsion que les fils peuvent prendre, on arrive aisément à faire ainsi une sorte de petite cuvette sans duplicature. On serre alors fortement les bords

au moyen d'un fil assez gros, que l'on soude à la toile; à la rigueur, il suffit de rabattre les bords de la toile autour du fil.

Ayant enlevé la petite cuvette de son mandrin, on la plonge dans la paraffine fondue au bain-marie dans une capsule plate, puis, après l'avoir retirée, on la frappe légèrement sur le coin d'une table pour dégager les trous; on maintient le fond dirigé en haut jusqu'à complète solidification; il ne faut ni frotter ni gratter la toile. Cette opération doit être faite en un endroit où les taches sont sans conséquence.

Ascensions capillaires dans des tubes ou entre des plaques.

Il est essentiel que les surfaces soient bien propres et exemptes de graisse; au besoin, on les nettoiera avec de l'alcool, puis avec de l'eau distillée. Pour colorer l'eau, il faut éviter de se servir des couleurs que l'on emploie généralement pour l'aquarelle; la solution contient toujours des parties solides qui obturent les tubes. Les couleurs d'aniline, qui se dissolvent complètement, sont bien préférables; on peut aviver la couleur en ajoutant à la solution quelques gouttes de vinaigre.

Globules liquides.

Pour produire des globules liquides, on verse sur une table saupoudrée de lycopode quelques gouttes d'eau de diverses grosseurs; on observe aussi fort bien la différence entre les grosses gouttes et les petites en projetant un peu de mercure sur une table unie. Lorsqu'on emploie du mercure, il faut soigneusement éloigner tous les objets d'or ou d'argent, qui pourraient être sérieusement endommagés.

Expérience de Plateau.

Cette expérience ne réussit parfaitement que lorsqu'on y met les soins nécessaires. L'huile d'olive remplit parfaitement le but, à la condition de subir une épuration qui consiste à la secouer dans une bouteille, avec un mélange de 9 parties en volume d'esprit-de-vin avec 7 parties d'eau. Après un repos d'un jour, elle peut servir à l'expérience. On verse alors dans un verre une partie du mélange d'eau et d'alcool, puis on introduit doucement, à l'aide d'un tube plongeant dans la solution, quelques gouttes d'eau à mi-hauteur du liquide. Une goutte d'huile retirée de

la bouteille au moyen d'une pipette est introduite avec précaution dans le verre ; on achève de régler l'expérience, en ajoutant, suivant les besoins, un peu d'eau au fond du verre, ou d'alcool à la surface. Lorsque l'huile flotte au milieu du liquide, on peut y introduire, avec la pipette, la quantité nécessaire à l'expérience, en prenant bien garde de lui laisser toucher les parois du verre. Si l'on veut voir la goutte dans sa vraie forme sphérique, il faut employer un vase en forme de globe ou une cuve à parois planes.

Pour faire tourner la goutte d'huile, on fixe, perpendiculairement à un fil de métal bien droit, un disque de 5^{mm} à 6^{mm} de diamètre, que l'on introduit dans la goutte ; en faisant tourner le disque sans secousses, on voit bientôt la goutte s'aplatir et former un anneau. Le disque doit être trempé dans l'huile avant d'être mis dans la goutte.

Liquide pour bulles de savon.

Pour préparer ce liquide, l'oléate de soude pur et frais est préférable au savon ordinaire de Castille ou de Marseille, qui lui-même vaut infiniment mieux que les savons de toilette. L'eau de savon suffit pour quelques expériences, mais, lorsque les

bulles doivent se maintenir longtemps, une solution de savon seul est généralement insuffisante. Plateau recommande d'ajouter à l'eau de savon de la glycérine, qui augmente beaucoup la durée des membranes. La glycérine doit être pure. Il est nécessaire de faire la solution avec de l'eau très douce ; il faut, autant que possible, employer de l'eau distillée, mais, au besoin, l'eau de pluie supplée. Il faut, dans ce cas, laisser couler l'eau de la première averse qui succède à une sécheresse, et, si possible, recueillir l'eau d'un toit d'ardoise ou de verre.

J'ai employé une solution un peu différente de celle de Plateau, et qui a été indiquée par les Professeurs Reynold et Rücker; voici la manière de la préparer. Remplir aux trois quarts une bouteille avec de l'eau distillée, ajouter $\frac{1}{40}$ d'oléate de soude et laisser dissoudre, ce qui dure une journée environ. Achever de remplir avec de la glycérine de Price, et bien agiter, ou verser et reverser de la bouteille dans une autre. Laisser la bouteille reposer pendant une semaine à un endroit sombre, puis décanter avec un siphon, en laissant l'écume; enfin, ajouter trois ou quatre gouttes d'ammoniaque concentrée par litre. Il ne faut ni chauffer ni filtrer. La bouteille doit être gardée bien bouchée

à un endroit sombre et frais, et n'être débouchée que pour remplir, suivant les besoins, une bouteille plus petite que l'on emploie pour les expériences; les résidus ne doivent pas être reversés dans la provision; d'une manière générale, il ne faut jamais laisser le liquide exposé à l'air plus que le temps strictement nécessaire à l'opération. La solution ainsi conservée est encore très bonne au bout de deux ou trois ans.

Anneaux pour les bulles.

Pour supporter les bulles, les anneaux doivent avoir un diamètre de 5^{cm} environ, et être soudés de manière à ne pas former d'angles vifs. J'ai entendu dire qu'il est bon d'enduire les anneaux de paraffine, mais je n'ai trouvé aucun avantage à cette pratique. Les petits anneaux qui sont destinés à être supportés par les bulles doivent être aussi légers que possible; le mieux est de les faire avec du fil d'aluminium de $0^{mm},3$ à $0^{mm},4$, dont les extrémités sont tordues ensemble; à défaut, on peut employer du fil de cuivre de $0^{mm},2$. Les anneaux doivent être humectés d'eau de savon avant de servir, et doivent être bien nettoyés et séchés après l'expérience.

Fils de soie sur une membrane.

La seule précaution à observer est de tremper une aiguille dans l'eau de savon avant de s'en servir pour montrer que le fil se meut librement sur la membrane ; la même aiguille, chauffée sur une bougie, sert à crever la bulle à l'endroit convenable.

Équilibrer les bulles l'une par l'autre.

Ces expériences sont surtout faciles à réussir avec de petites bulles ; celles-ci peuvent être supportées par des tubes de laiton de 1^{cm} de diamètre ou un peu plus. Le mieux est d'avoir un appareil construit spécialement en vue de l'expérience, et muni des robinets nécessaires ; mais on peut remplacer ceux-ci par un tube de caoutchouc serré à l'aide d'un ressort. Il faut observer ici un petit détail qui établit la démarcation entre la réussite et l'insuccès ; c'est de se servir d'une embouchure faite avec un tube de verre effilé, engagé dans un tube de caoutchouc, afin que l'on ne puisse pas souffler brusquement ; sans cette précaution, il est très difficile d'ajuster exactement la quantité d'air voulue.

Dans l'expérience de la *fig.* 22, le petit tube

mobile doit pouvoir être élevé graduellement et sans secousses; on le recouvre, aux deux bouts, d'une membrane, que l'on tend à travers l'ouverture à l'aide d'un morceau de papier. Le tube fixe doit être exempt de membrane. Les deux tubes sont maintenus rapprochés jusqu'à ce que la bulle sphérique soit formée; puis on les écarte graduellement, tout en soufflant de manière à maintenir les côtés du cylindre parfaitement droits. La relation des diamètres ressort d'autant mieux que le cylindre est plus long; il est avantageux de s'arrêter aussi près que possible de la forme instable, sans cependant l'atteindre.

Thaumatrope montrant la formation et l'oscillation des gouttes.

La chute et l'oscillation des gouttes d'eau peuvent être parfaitement imitées et rendues visibles sans qu'il soit nécessaire d'avoir recours à aucun liquide; il suffit, pour cela, de détacher la planche qui se trouve à la fin du volume, et de la monter sur l'instrument bien connu que l'on nomme thaumatrope ou phénakisticope.

Cette figure doit être d'abord collée, à la colle de pâte, sur une feuille de carton, que l'on tien-

dra sous presse jusqu'à ce qu'elle soit parfaitement sèche, car, autrement, elle se courberait et serait perdue. Puis on coupera, avec un bon canif, les 43 saillies noires qui se trouvent entre les gouttes, et on les prolongera de la moitié de leur longueur dans le noir, de manière à obtenir des fentes bien nettes de 1^{mm} de largeur environ; on enlèvera le bord du carton dépassant le cercle noir. On fixera au dos du carton, et exactement en son centre, une bobine au travers de laquelle on fera passer un crayon ou toute autre broche sur laquelle elle puisse tourner; maintenant la broche d'une main, de façon à présenter la figure bien parallèlement à une glace, on fera tourner la bobine de l'autre main, tandis qu'on regardera par les fentes du carton ([1]). On verra, dans cette glace, tous les détails de la chute d'une goutte. Celle-ci croît peu à peu, puis devient trop lourde pour pouvoir être supportée; le col se rétrécit rapidement, et finit par se rompre; la goutte tombe dans le fond du vase, mais ne se mélange pas immédiatement au reste du liquide, sur lequel elle rebondit d'abord. Pendant sa chute, elle vibre par l'effet de la dispa-

([1]) La vision est sensiblement améliorée si l'on intercale une fente fixe de 1^{mm} environ entre l'œil et le disque.

rition subite d'une traction unilatérale. Pendant ce temps, le col se contracte lui-même en une gouttelette, qui est frappée violemment par la goutte suivante en formation tandis qu'elle oscille de son côté. Pour reproduire exactement le phénomène, il est nécessaire d'appuyer l'axe sur un support fixe, et de donner au disque une vitesse angulaire qui ne dépasse pas un demi-tour par seconde.

L'effet est plus réel si on limite le miroir à une bande verticale étroite qui permet de voir seulement une goutte à la fois.

Gouttes d'eau dans la paraffine et le sulfure de carbone.

Tout ce qui a été dit pour l'expérience de Plateau s'applique à celle-ci; on peut obtenir de grosses gouttes d'eau parfaitement sphériques en mélangeant du sulfure de carbone avec de la paraffine liquide, de telle sorte que la liqueur au fond du vase soit plus lourde qu'à la surface. Le sulfure de carbone alourdit le mélange. Ce liquide a une horrible odeur, et il est extrêmement dangereux; le mieux est de ne pas l'apporter dans la maison.

On peut voir la forme d'une goutte suspendue en laissant couler de l'eau dans la paraffine seule-

ment; mais l'eau descend plus lentement dans le mélange, et le phénomène est plus évident. On peut employer, pour former ces gouttes, des tubes de verre de 1^{cm} à 2^{cm}, ouverts aux deux bouts. Ayant versé un peu d'eau colorée en bleu dans un vase en verre, on la recouvre de 10^{cm} au moins de paraffine; puis on plonge dans le liquide le tube dont on ferme l'extrémité supérieure avec le pouce. Lorsqu'il atteint le fond du vase, on le débouche et on le laisse se remplir d'eau; on le rebouche et le relève jusqu'à ce que son extrémité inférieure se trouve un peu au-dessous du niveau du liquide; on laisse alors l'air rentrer lentement, et l'on voit se former des gouttes qui se détachent lorsqu'elles ont atteint un diamètre toujours le même dans les mêmes conditions, et qui dépend de la grosseur du tube et de la densité du mélange.

Pour former un cylindre d'eau dans de la paraffine, on remplit le tube de verre comme dans l'expérience précédente, puis, lorsque tout mouvement a cessé, on le relève rapidement de bas en haut. L'eau qu'il contenait reste au milieu du liquide, sous la forme d'un cylindre, qui se résout en grosses gouttes si lentement que, dans le cas d'un cylindre un peu large, on suit le mouvement sans difficulté. L'expérience ne réussit parfaite-

ment que si la paraffine a une hauteur au moins dix fois plus grande que le diamètre du cylindre.

On peut enfin former des bulles d'eau remplies de paraffine; dans ce but, on descend dans le liquide le tube ouvert aux deux bouts, de manière à ce que l'eau et la paraffine prennent, à son intérieur, leur niveau naturel; on applique le pouce à l'extrémité supérieure et l'on retire le tube jusqu'à ce qu'il soit entièrement hors de l'eau. On laisse alors rentrer l'air tout en soulevant lentement le tube. Les bulles d'eau se forment à l'extrémité inférieure du tube, d'où elles peuvent être détachées comme une bulle de savon d'une pipe en terre, par un mouvement approprié. Il est facile d'introduire dans le tube un certain nombre de gouttes d'eau; on obtiendra, dans ce cas, des bulles d'eau contenant des gouttes ou même d'autres bulles. En versant avec précaution un peu de sulfure de carbone le long du tube, on forme une couche lourde sur laquelle ces bulles flottent.

On peut enfin obtenir des cylindres creux dont les parois sont constituées par une mince lame d'eau; dans ce but, on descend le tube dans le liquide, sans le fermer, et on le retire rapidement. Le cylindre creux se résout en bulles comme le cylindre plein forme des gouttes.

Toiles d'araignées engluées.

Les fils tendus circulairement dans les toiles d'araignées sont tous recouverts de liquide gluant; les belles toiles se trouvent particulièrement en automne. Il est facile de monter une toile de manière à pouvoir l'examiner à loisir; il suffit, pour cela, de passer à travers une toile (en laissant de préférence le centre à l'extérieur) un anneau de carton dont les bords ont été enduits de gomme épaisse. Les sphérules disposées sur les fils en spirale sont trop petites pour être visibles à l'œil nu, mais on les distingue fort bien à l'aide d'une forte loupe ou d'un microscope d'un faible grossissement. Les gouttelettes sont moins régulières sur les toiles des jeunes araignées que sur les toiles de celles qui ont atteint leur plein développement. Les admirables gouttelettes que l'on aperçoit le matin de bonne heure en automne sur les toiles ne sont pas dues aux araignées; c'est une simple rosée, qui montre avec une grande perfection la forme sphérique des petites gouttes d'eau.

Photographie d'une veine liquide.

Le plus simple est d'employer la méthode de

M. Chichester Bell, qui consiste à faire tomber la veine aussi près que possible d'une plaque sèche très sensible, maintenue verticalement, et à l'éclairer par une courte étincelle distante de 2^m à 3^m, et due à la décharge d'une batterie de condensateurs. L'ombre est si bien définie que l'on peut examiner la photographie avec une forte loupe sans remarquer le moindre flou. La rupture régulière du jet peut être produite par un son quelconque.

Rupture systématique à l'aide d'un diapason.

Les jets ascendants décrits plus haut étaient mis en connexion à l'aide d'un long bâton de bois, appuyé contre l'orifice, avec la tige d'un diapason maintenu en mouvement par un électro-aimant. Pour une expérience de courte durée, un diapason ordinaire suffit. Le jet se rompt de préférence pour certaines notes, que l'on atteint en modifiant convenablement la grandeur de l'orifice, ou la pression de l'eau.

Action de l'électricité sur un jet d'eau.

Cette expérience simple et très frappante réussit avec la plus grande facilité. Le jet peut avoir de-

puis $\frac{1}{2}$ millimètre jusqu'à 5^{mm} ou 6^{mm} de diamètre, et une hauteur atteignant 3^{m}; le maximum d'action est atteint avec un jet de 2^{mm} de diamètre et de 1^{m} de hauteur environ. Le jet doit être légèrement incliné. La cire à cacheter, frottée sur un morceau de flanelle sèche, de manière à attirer de petits morceaux de papier, agit fortement sur le jet, mais l'action est encore visible lorsque la cire a cessé d'agir sur un électroscope à feuilles d'or.

Veines réfléchies.

Cette belle expérience exige quelque préparation pour réussir d'une manière satisfaisante. On ramollit à la lampe un tube de verre, et on l'étire de façon à l'amener à 3^{mm} environ dans sa partie la plus étroite. On le coupe en cet endroit, et on ajuste les deux moitiés à des tubes de caoutchouc, communiquant avec deux vases distincts remplis d'eau. On égalise les jets à l'aide de pinces à vis, enfilées sur les caoutchoucs, puis on les dirige l'un vers l'autre sous un angle aigu; ils rebondissent l'un sur l'autre pendant quelque temps, mais ne tardent pas à se réunir si l'air contient de la poussière, si l'eau est malpropre, ou si elle entraîne des bulles.

Dans l'expérience de projection que j'ai montrée, les deux ajutages étaient légèrement convergents, dans une direction presque horizontale, et placés verticalement l'un au-dessus de l'autre, à une distance de 2^{cm} environ; je les avais fixés dans leur position relative en versant sur eux de la cire fondue; ils étaient réunis, à l'aide de tubes de caoutchouc, à deux bouteilles placées à 15^{cm} au-dessus de leur niveau, l'une d'elles étant isolée sur trois pieds de cire. L'eau des bouteilles avait été filtrée, et dans l'une on avait mis un peu de couleur bleue. Grâce à ces précautions, les jets restent toujours distincts pendant un temps suffisant, mais se rejoignent aussitôt que l'on amène à 2^{m} ou 3^{m} de distance un bâton de cire électrisé. On les sépare en plaçant son doigt sur l'un des orifices, de manière à dévier le jet pour un instant; lorsqu'on retire lentement le doigt, le jet reprend sa première direction et rebondit de nouveau.

Jet d'eau vu à la lumière intermittente.

Lorsqu'on veut montrer cette expérience à un nombreux auditoire, il est nécessaire d'employer l'arc électrique et de projeter le jet sur un écran. Mais, lorsqu'on veut faire l'expérience pour son

propre compte, il est inutile d'avoir recours à une projection. Il suffit, dans ce cas, de produire le jet sur un fond très éclairé, de le rompre à l'aide d'un diapason ou d'une corde vibrante, et de l'examiner au travers d'une série d'ouvertures percées dans une carte que l'on fait tourner rapidement. Un carton de 15^{cm} de diamètre, avec six trous de 3^{mm} percés à 1^{cm} du bord, convient parfaitement. On règle, comme il a été dit, la vitesse angulaire de la carte de manière à voir le diapason en repos; on aperçoit alors, sans difficulté, tout ce qui a été décrit plus haut et beaucoup d'autres choses encore. C'est une des expériences les plus fascinantes que l'on puisse imaginer, et il vaut la peine de faire un effort pour la réussir.

Le petit moteur que j'ai employé a été construit par la maison Cuttriss et Cie; il était actionné par quatre éléments Grove. On règle aisément le mouvement en prenant trop de courant et en décalant les balais, enfin, en exerçant une légère pression du doigt à l'extrémité de l'axe.

Jet chantant ou microphone hydraulique de M. Chichester Bell.

Pour cette expérience, il convient d'employer un

orifice de trois dixièmes de millimètre de diamètre. M. Bell recommande, pour l'obtenir, de chauffer, dans le chalumeau, l'extrémité d'un tube de verre en tournant constamment, jusqu'à ce qu'elle soit presque fermée, puis de souffler brusquement dans le tube, de manière à former un orifice en parois minces. Après avoir préparé un certain nombre de tubes, on choisit ceux qui conviennent. Lord Rayleigh préfère souder à l'extrémité d'un tube de métal une mince feuille de laiton que l'on perce à volonté. La pression doit être produite par une hauteur d'eau d'environ 5^{m}. L'eau doit être parfaitement exempte de bulles ou de poussières, et il est bon de la faire passer à travers un tampon de ouate. Entre ce filtre et l'orifice, on intercale un tube de bon caoutchouc noir de 1^{m} de long et de 3^{mm} de diamètre environ. Il est préférable de ne pas prendre directement l'eau de la conduite, mais de la siphoner d'un seau dont on peut régler la hauteur de manière à obtenir le maximum d'effet.

Le reste de l'appareil est très simple. Il suffit de tendre à l'extrémité d'un tube, de 1^{cm} de diamètre environ, un morceau de caoutchouc mince comme celui des ballons d'enfants. Le tube peut être maintenu dans un support et ouvert, au bout op-

posé au caoutchouc, ou porté sur un pied et muni d'un tube latéral sur lequel on colle un cône en carton, en guise de porte-voix. Pour des expériences personnelles, il est préférable d'amener le son à l'oreille à l'aide d'un tuyau de caoutchouc fixé sur la tubulure latérale. Dans ces conditions, le tic-tac d'une montre est absolument assourdissant.

Bulles et éther.

Les expériences avec l'éther doivent être faites avec beaucoup de précaution, car ce liquide, comme le sulfure de carbone, est très inflammable ; la bouteille d'éther ne doit jamais être placée près d'une flamme. Lorsqu'une grande quantité de liquide a été versée, la vapeur lourde s'écoule sur le plancher et peut s'allumer à la cheminée à l'autre bout de la pièce. On peut remplir un vase de vapeur d'éther en trempant dans le liquide un morceau de papier buvard arrivant au bord supérieur. Pour un vase de 2 litres, un demi-verre à bordeaux de liquide est parfaitement suffisant.

Une bulle ayant été déposée sur la vapeur d'éther, peut en être retirée après 5 ou 10 secondes, à l'aide d'un petit anneau de fil métallique préalablement trempé dans l'eau de savon, mais ne conte-

nant pas de membrane. Amenée à une petite distance d'une bougie, la bulle s'enflamme immédiatement en faisant explosion. Si la lampe est bien au-dessus du bocal rempli de vapeur, il n'y a aucun danger à faire l'expérience.

Lorsque la bulle sort de la vapeur d'éther, sa forme, qui ressemble à celle d'une poire, ne peut manquer d'être distinguée de celle d'une bulle ordinaire. Le courant de vapeur s'écoulant de la bulle est invisible si on ne le projette pas sur l'écran au moyen d'une vive lumière.

Contact des bulles.

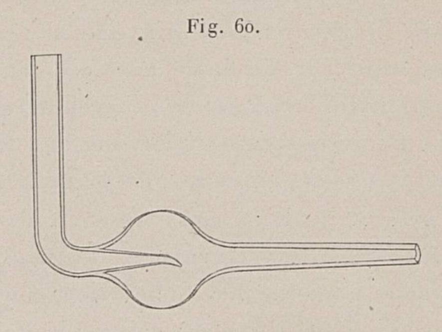
Lorsqu'on frappe deux bulles l'une contre l'autre, il y a une limite de violence que l'on ne peut dépasser sans les détruire ; il faut aussi prendre garde qu'aucune partie saillante de l'un des systèmes, telle que la goutte inférieure ou l'anneau d'une des bulles ne vienne en contact avec l'autre.

On peut faire passer au travers d'un anneau une bulle de savon plus grosse qu'on ne le penserait au premier abord ; mais là aussi, il y a une limite que l'on ne peut dépasser. La goutte empêche le plus souvent de pousser la bulle de bas en haut, et il est préférable de faire l'expérience en sens inverse.

Expériences avec des bulles internes.

Pour ces expériences, une bonne eau de savon et un tube approprié sont indispensables. Une pipe ordinaire ne peut servir à rien, et il faut la remplacer par un tube de verre ayant environ 8^{mm} à

Fig. 60.



l'orifice. Si ce tube est simplement courbé à angle droit près de son extrémité, l'humidité qui se condense est sujette à couler dans les bulles et à les faire crever. J'ai construit, pour ces expériences, un tube d'une forme particulière, représenté en demi-grandeur dans la *fig.* 60, et je ne crois pas que l'on puisse faire mieux. On peut, à la rigueur, remplacer ce petit appareil tout d'une pièce, par deux tubes aboutissant, à travers des morceaux de liège, dans un court manchon de verre.

La première bulle extérieure, de la grosseur d'une orange, doit être suspendue à un anneau; un autre anneau, pas trop léger, est fixé à la bulle de manière à la déformer, en sorte que ses côtés forment un angle de 30° à 40° avec la verticale à l'endroit où ils rejoignent l'anneau. L'extrémité du tube, préalablement trempée dans l'eau de savon, est alors introduite de haut en bas dans la bulle à travers l'anneau supérieur. La bulle une fois soufflée, il s'agit de l'abandonner et de retirer le tube; pour cela, un mouvement trop lent entraîne la bulle, et l'amène en contact réel avec la première, par la surface du verre, tandis qu'un choc violent produit une trop forte perturbation; un mouvement de moyenne vitesse, avec une petite secousse, est tout ce qu'il faut. Il reste à enlever la goutte de liquide en introduisant le tube à travers l'anneau inférieur, que l'on maintient fixe d'une main; dans cette opération, la bulle intérieure ne doit pas venir en contact avec l'anneau, et le tube ne doit pas passer à un endroit où les deux membranes sont trop voisines. On enlève l'anneau inférieur en le tirant un peu vers le bas et en l'inclinant. Dès que la pellicule commence à se détacher, il faut relever l'anneau de manière à ce que l'oscillation de la bulle ne soit pas trop forte.

Les bulles colorées à la fluorescéine ne se montrent dans tout leur éclat que si elles sont illuminées au moyen de la lumière solaire ou de l'arc, concentrée à l'aide d'une lentille. La quantité de colorant nécessaire est si faible qu'on en prend facilement trop, ce qui détruit l'effet. Pour un verre d'eau de savon, on en prendra de quoi couvrir 3^{mm} de la pointe d'un canif.

Pour souffler des bulles contenant à volonté du gaz d'éclairage ou de l'air, ou un mélange des deux, on peut employer avantageusement un tube en T, portant un tuyau de caoutchouc à chacune de ses branches ; l'un d'eux conduit au tube qui sert à souffler les bulles, le second est réuni à la conduite de gaz, tandis qu'on tient le troisième à la bouche. Le tuyau amenant le gaz d'éclairage traîne sur le parquet et peut être gouverné avec le pied ; le tuyau à air est fermé avec la langue ; enfin, on tient de la main droite le tube servant à former les bulles. De cette manière, la main gauche reste libre pour la manœuvre des anneaux. Afin d'éviter que le tuyau à bouche ne s'échappe lorsqu'on souffle, on le distend en introduisant rapidement à son embouchure un morceau de métal froid que l'on tourne dans le tuyau, tandis que celui-ci est chaud.

Dans tous les cas, le tube de verre doit être introduit dans la bulle à sa partie supérieure. Si on l'introduit de côté, on est certain de perdre la bulle intérieure. Lorsque cette dernière est remplie de gaz, elle tend à s'élever ; pour empêcher qu'elle ne rejoigne la bulle extérieure le long du tube, on incline celui-ci convenablement. Si l'on veut introduire un peu d'air ou de gaz dans une bulle déjà formée, il est dangereux de commencer à souffler immédiatement après que le tube a été introduit, car la membrane qui est souvent tendue à l'extrémité du tube forme une troisième bulle qui provoque presque sûrement un insuccès. Pour l'éviter, il faut aspirer brusquement avant de commencer à souffler ; la membrane remonte alors, et se brise dans le tube.

L'expérience consistant à faire enlever un morceau de papier attaché à un fil ne réussit qu'avec une bulle de grosseur suffisante ; l'anneau auquel on la fixe doit avoir au moins 5^{cm} de diamètre.

Les anneaux de petite dimension peuvent être détachés des bulles par une traction appropriée ; on enlève les anneaux plus grands en les inclinant ou en remplaçant la bulle par une autre qui se fixe à l'anneau et libère la première.

Il est assez difficile de souffler trois bulles l'une

dans l'autre, et, pour cela, il est bon de suivre exactement le procédé que je vais indiquer, et qui réussit presque à coup sûr. Il faut d'abord placer une bulle, de la grosseur d'une forte orange, sur un anneau fixe ; introduire dans la bulle, de bas en haut, un anneau de 2 à 3^{cm}, préalablement mouillé, et maintenu à l'extrémité d'un fil de fer allant vers le bas ; passer le tube au travers de l'anneau fixe dans la bulle extérieure (n° 1), jusqu'à ce qu'il arrive presque au contact de l'anneau intérieur. Lorsque la bulle commence à se former, elle doit se fixer à l'anneau, car la membrane tendue sur celui-ci ne manquerait pas de détruire une bulle d'une certaine grosseur. Aussitôt la bulle n° 2 suffisamment grosse, retirer le tube, le plonger de nouveau dans le liquide, et l'introduire à travers la bulle n° 1 dans la bulle n° 2, en ayant soin qu'elles ne viennent point en contact. Souffler une forte bulle de gaz qui peut venir en contact avec le sommet de la bulle n° 2. Retirer doucement le tube de la bulle n° 3, introduire un peu de gaz dans le n° 2, et diminuer la pression entre les deux bulles. L'anneau mobile peut maintenant être retiré, mais il y a parfois quelque difficulté à le faire ; il suffit alors de gonfler la bulle n° 1 avec de l'air, après quoi on peut sûrement enlever l'anneau.

Cette description paraît compliquée, mais, avec un peu de pratique du procédé, on arrive à l'accomplir en beaucoup moins de temps qu'il n'en faut pour le dire ; en réalité, tout se fait si rapidement et si simplement qu'au premier abord personne ne supposerait qu'il faille s'attacher à tant de détails.

Bulles et électricité.

De toutes les expériences décrites, celles-ci sont, en somme, les plus difficiles à réussir. Les supports des bulles se composent de deux anneaux pratiqués à l'extrémité de deux tiges ayant environ 15^{cm} de longueur, et dont l'autre extrémité est recourbée à angle droit, de façon à s'engager verticalement dans une plaque d'ébonite. Les anneaux doivent être placés exactement au même niveau, et dans un plan horizontal ; après les avoir séparés de 10^{cm} environ, on les munit de deux bulles à peu près égales, puis on les rapproche de manière à ce que les bulles arrivent juste en contact. Bien qu'on puisse les frapper l'une contre l'autre, elles ne restent pas longtemps dans cette position, car la surface convexe chasse l'air compris entre elles. L'ébonite ne doit pas avoir été chauffée, et il

est préférable qu'elle ne soit pas parfaitement sèche ; en effet, il est presque certain, dans ce cas, qu'elle est légèrement électrisée, ce qui expose à des insuccès ; d'un autre côté, si elle est trop humide, elle devient conductrice, et la cire électrisée n'a aucune action. L'humidité qui lui est communiquée par les premières bulles qui crèvent la mettent dans les meilleures conditions. Il convient de l'essuyer de temps en temps.

Un bâton de cire à cacheter doit être tenu prêt, sous le bras, enveloppé d'un ou deux tours de flanelle sèche ; si le bâton est électrisé trop fortement, il peut agir d'une manière trop violente, de telle sorte que les bulles se détruisent par leur action mutuelle. Une faible électrisation suffit parfaitement.

La cire peut être amenée si près d'une bulle qui en contient une autre, qu'elle est attirée de côté sans qu'aucune action se fasse sentir sur la bulle intérieure ; dans cette expérience, il faut prendre garde d'approcher trop le bâton de cire, car, si la bulle crève à son contact, il est difficile de l'électriser de nouveau. Dans l'expérience combinée avec deux bulles voisines et une intérieure, une trop forte électrisation ou une perte de temps compromet de même le résultat.

J'ai trouvé que, dans ces expériences, il est bon de laisser la goutte lourde à l'une des bulles, de manière à lui donner plus de stabilité. Lorsque la bulle supplémentaire n'est pas trop grosse, on peut répéter l'expérience plusieurs fois, sans endommager la bulle intérieure. J'ai réussi à grossir la bulle extérieure de huit ou neuf autres bulles avant de la crever.

Je m'écarterais de mon sujet si j'entrais dans le détail des appareils de projection. Je dirai cependant que les expériences avec les petites bulles peuvent fort bien être projetées sur l'écran à l'aide d'une lentille, tandis que les grosses bulles ne sont rendues visibles que par leur ombre. Un arc électrique est bien préférable pour cela à la lumière Drummond, parce que l'ombre est plus nette et les couleurs plus brillantes. Une lampe à huile ne donne rien de bon, la flamme étant trop large pour projeter une ombre nette.

Dans ces indications, qui m'ont conduit à ajouter à ce petit livre un Chapitre entier, j'ai donné tous les détails qu'une assez grande habitude m'a montrés nécessaires pour la réussite des expériences en public. J'espère rendre ainsi quelques services à ceux qui désirent les répéter pour leur

propre satisfaction. Bien que des personnes étrangères à la Physique expérimentale puissent trouver dans ces indications un luxe inutile de détails, il est probable que, malgré le soin apporté à prévoir toutes les difficultés, elles en rencontreront encore quelques-unes qui les feront chercher.

Il n'est guère dans les habitudes de terminer un Ouvrage en décrivant minutieusement les expériences dont on a parlé; mais, dans le cas actuel, je crois que cette innovation est d'autant plus à sa place que la plupart de ces expériences peuvent être faites sans le secours des appareils compliqués auxquels il est le plus souvent nécessaire d'avoir recours.

NOTES DU TRADUCTEUR.

NOTE A.

SUR LES TOURBILLONS DU CAMPHRE.

Le phénomène classique des tourbillons du camphre a mis à l'épreuve, pendant de longues années, la sagacité des physiciens; quant à sa véritable théorie, à laquelle l'auteur fait une simple allusion (p. 21), elle n'est point encore assez répandue pour que quelques mots d'explication à ce sujet soient inutiles. On admettait, autrefois, que la dissolution du camphre dans l'eau, se produisant à certains points d'attaque, engendrait une réaction à la manière du recul d'une arme à feu; mais il est aisé de se convaincre que cette explication est insuffisante.

Il est impossible de supposer, en effet, qu'une action de cette nature puisse produire aucun travail appréciable, et seule la petitesse de l'effort nécessaire pour déplacer

une poussière sur l'eau a pu faire mettre la cause hypothétique en parallèle avec l'effet élémentaire que pendant longtemps on s'est borné à observer. Mais il est aisé de montrer que le camphre jeté sur l'eau peut engendrer des efforts assez considérables. M. van der Mensbrugghe a imaginé, dans ce but, l'expérience suivante, facile à réaliser. On construit, avec de la feuille d'étain, un petit bateau dont la poupe, taillée en queue d'aronde, reçoit un morceau de camphre qui ne touche l'eau que par un point, et dont la solution est dirigée, par la feuille d'étain, dans le sens exactement opposé au bateau; lorsque l'ensemble de l'appareil est convenablement disposé, le bateau traverse l'eau avec une grande vitesse.

On peut compléter la démonstration, en faisant agir le bateau au moyen d'une tringle, sur une capsule ou une soucoupe légère, posée sur l'eau, et qu'il entraîne tangentiellement en un rapide mouvement de rotation.

L'effet de recul dont nous avons parlé se trouve ainsi éliminé; d'autres particularités du phénomène montrent, d'une façon irréfutable, que l'action est limitée à la surface du liquide.

Les tourbillons ne se produisent que si l'on opère avec une grande propreté. Le vase dont on se sert doit être préalablement lavé et dégraissé à fond, et il faut même avoir soin de ne pas appliquer la main dans la partie qui sera recouverte par l'eau. Il suffit souvent de toucher avec le bout du doigt la surface de l'eau pour que le phénomène cesse immédiatement; cependant, il existe à cet égard de grandes différences entre diverses personnes, les unes arrêtant tout mouvement, d'autres n'exerçant pas d'action appréciable. Si l'on ouvre un flacon d'éther

au voisinage de la cuvette, le bateau d'étain exécute des mouvements désordonnés.

Lord Rayleigh a fait des expériences fort délicates dans le but de déterminer l'épaisseur de la couche d'huile nécessaire pour arrêter les mouvements du camphre. Il a trouvé que, si l'on répand sur l'eau une quantité d'huile formant une couche de $0^{mm},000\,002$ d'épaisseur, tout mouvement cesse. Cette mesure fournit un résultat fort intéressant ; on est obligé d'admettre que cette couche d'huile est continue, et qu'elle a une épaisseur au moins égale à celle d'une molécule ; on obtient, de cette manière, une limite supérieure déjà très serrée de la grandeur de la molécule.

On peut enfin montrer directement que la dissolution du camphre dans l'eau fait varier la tension superficielle. Dans ce but, on dispose, à la surface de l'eau, un fil formant un contour fermé de forme quelconque, puis on jette quelques parcelles de camphre à l'intérieur ; les tourbillons commencent et, peu à peu, le contour se tend, formant bientôt un cercle parfait. La démonstration est donc complète.

NOTE B.

CONSÉQUENCES DE LA PRESSION CAPILLAIRE.

La valeur de la pression capillaire à l'intérieur d'une goutte ou d'une bulle se déduit des équations générales de la capillarité établies par Laplace, mais on peut en trouver l'expression par un calcul immédiat et élémentaire.

Considérons une goutte sphérique de rayon r, d'un liquide dont la tension superficielle est T. La pression, dans une direction quelconque, est engendrée par la tension des éléments de surface parallèles à cette direction, c'est-à-dire par la force qui s'exerce le long d'un grand cercle dont le plan lui est perpendiculaire; cette force, dont la valeur est $2\pi r T$, se répartit sur la surface πr^2; la pression est donc

$$p = \frac{2T}{r}.$$

Le même raisonnement s'applique à un espace vide au sein d'un liquide; dans le cas d'une bulle de savon, la pression due aux deux faces de la pellicule est $2p$.

Cette pression peut, dans certains cas, prendre des valeurs très considérables. Pour l'eau, par exemple, on a

$$T = 7{,}6 \frac{\text{mg}}{\text{mm}} \qquad \text{et} \qquad p = \frac{15{,}2}{r} \frac{\text{mg}}{\text{mm}^2}.$$

Si la bulle a $1\,\mu$ de diamètre, la pression est

$$p = 15{,}2.\ 10^3 \frac{\text{mg}}{\text{mm}^2} = 1{,}52 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \quad \text{ou} \quad 1{,}5^{\text{atm}} \text{ environ.}$$

Cette pression explique les difficultés de la formation des premières bulles au sein d'un liquide, dans le cas d'un dégagement de gaz dissous, d'une ébullition, d'une électrolyse, etc. On pourrait penser, au premier abord, que cette pression, inversement proportionnelle à r, peut croître indéfiniment. Il n'en est rien, puisque r est limité à la distance des molécules. Bien que la formule ne soit pas applicable à ce cas (les interstices ne pouvant être assimilés à des sphères), il est intéressant de calculer la valeur à laquelle elle conduirait.

On admet que la distance des molécules est de l'ordre du millionième de millimètre. Introduisant dans la formule ci-dessus la valeur $2r = 0{,}000001$, on trouve

$$p = 30{,}4.10^6 \frac{\text{mg}}{\text{mm}^2},$$

soit environ 3000 atmosphères.

Il faut remarquer que la tension superficielle diminue lorsque la température s'élève; malgré cela, il est impossible d'admettre que, dans les retards d'ébullition, on ait jamais atteint, à beaucoup près, la limite théorique;

il faut supposer, soit que, dans tous les cas observés, une cause accidentelle ait déterminé la formation de la première bulle, soit que la limite trouvée par un calcul grossier est hors de proportion avec la réalité.

Dans l'électrolyse de l'eau acidulée, on observe que, pour dégager les premières bulles gazeuses, il faut employer une force électromotrice que l'on peut ensuite abaisser sensiblement sans que l'électrolyse visible cesse de se produire; la limite absolue est atteinte pour $1^v,78$ environ (Helmholtz); sous une pression de 1000 atmosphères, la force contreélectromotrice est de $1^v,91$; les déterminations précises de la différence de potentiel la plus élevée que l'on puisse appliquer à des électrodes sans observer de dégagement gazeux font encore défaut, et il n'est pas possible de dire à quelle pression capillaire correspondent les premières bulles.

Mais il est un autre genre d'expériences plus nouvelles, dans lesquelles on peut observer directement cette traction capillaire, qui se manifeste par des effets inattendus. On remplit à peu près un tube de verre avec de l'eau pure, bien purgée de gaz, puis, par un artifice facile à imaginer, on le scelle à la lampe, sans introduire aucune trace d'air; on le chauffe ensuite doucement, jusqu'à ce que l'eau remplisse entièrement la cavité, et adhère de tous côtés aux parois, puis on le laisse refroidir lentement dans un bain. On peut ainsi, sans que l'eau se sépare du tube, atteindre une température bien inférieure à celle pour laquelle il s'est rempli complètement; lorsqu'on dépasse une certaine limite, l'eau se détache brusquement en produisant un bruit sec, et en laissant une cavité considérable. Connaissant l'écart de température, la dilata-

tion thermique de l'eau et sa compressibilité, on en déduit la traction à laquelle elle a été soumise. Dans certains cas, cette traction a pu être évaluée à plusieurs centaines d'atmosphères. La théorie ébauchée dans cette Note est si grossière que l'on peut déjà déclarer l'accord satisfaisant, et conclure que, dans ces expériences, on a dû s'approcher beaucoup de la limite absolue du phénomène.

NOTE C.

FILS DE QUARTZ.

Quelques-uns de nos lecteurs ont pu éprouver une certaine surprise en apprenant que l'on était parvenu à filer le cristal de roche. L'invention du fil de quartz est due à l'auteur même de cet Ouvrage, qui en a tiré déjà des partis très divers. Après avoir desséché et étonné un beau cristal de quartz dans le moufle, on le prend avec des pinces, et on le fond dans le chalumeau oxyhydrique, de manière à obtenir une baguette bien limpide de 1^{mm} à 2^{mm} de diamètre. On fixe un petit morceau de ce quartz à une flèche très légère, que l'on pose sur une arbalète. On tient d'une main un fragment de quartz préalablement fondu, que l'on rapproche du premier, tandis que, de l'autre main, on dirige sur leur point de jonction la flamme du chalumeau. Lorsque l'on a formé, entre les deux morceaux, une perle incandescente, on déclenche l'arbalète, à l'aide d'une ficelle que l'on commande avec le pied. La flèche va se planter dans une cible, et tire derrière elle un fil extrêmement fin, qui se termine en géné-

ral dans le morceau que l'on a gardé à la main. Il ne reste plus qu'à ramasser le fil sur un dévidoir. La fibre de quartz peut remplacer avec avantage les fils d'araignée dans les micromètres, ou les cocons pour la suspension d'objets légers comme les quadrants d'un électromètre, l'aiguille d'un galvanomètre, etc. La résistance mécanique du quartz étant très considérable (comparable, suivant M. Boys, à celle de l'acier), on peut employer des fils très fins, qui ont par conséquent une force antagoniste extrêmement faible, et sans aucun résidu.

NOTE D.

L'ACTION DE L'HUILE SUR LES VAGUES.

Les anciens connaissaient déjà l'action calmante que l'huile exerce sur les vagues ; Aristote, Pline et Plutarque en font mention. Mais cette tradition, conservée par les marins, avait été négligée par les physiciens, qui avaient continué de la reléguer au rang des nombreuses superstitions attribuées aux pêcheurs. On doit à M. van der Mensbrugghe de l'avoir remise en honneur, et d'avoir donné une explication à peu près satisfaisante de cette action. Une enquête approfondie, faite par le vice-amiral Cloué en 1887, est venue apporter à la théorie l'appui d'un nombre considérable d'observations concluantes. Nous reproduirons ici, en l'abrégeant un peu, une Note de M. van der Mensbrugghe, publiée dans *la Nature* du 28 juillet 1888.

« Imaginons une surface d'eau ayant 1^{mm^2}, et demandons-nous quel travail il faut dépenser pour la doubler. Nous aurons à vaincre une série de petites forces dont la somme vaut $7{,}5^{mg}$ (1), et à faire décrire à tous les points

(1) Nous avons admis, pour nos calculs, la valeur $7{,}6 \frac{mg}{mm}$;

d'application de ces forces élémentaires un chemin égal à 1^{mm}; nous aurons ainsi à effectuer un travail de 7,5 mg.mm., qui se retrouvera, comme énergie disponible, dans le nouveau millimètre carré de surface libre; c'est cette énergie de 7,5 mg.mm., que j'ai appelée énergie potentielle de l'eau pure.

» N'oublions pas que cette énergie réside dans une couche n'ayant pas plus de $0^{mm},00005$ d'épaisseur; nous comprendrons alors que, dans la couche superficielle de l'Océan, se trouve emmagasinée une puissance mécanique dont rien ne peut donner une idée exacte.

» Je suppose maintenant que, de deux couches superficielles égales et juxtaposées, l'une glisse sur l'autre par l'effet du vent, par exemple; la couche complètement recouverte aura perdu sa surface libre et, avec elle, son énergie potentielle caractéristique. Le glissement s'opère-t-il avec lenteur, cette énergie sera remplacée par une quantité de chaleur équivalente; mais, si le phénomène se passe avec rapidité, l'énergie potentielle perdue donne lieu à un accroissement de vitesse. Si donc le vent communique à certaines couches de la mer une vitesse plus grande qu'aux couches voisines, celles-ci sont recouvertes par les premières qui vont en recouvrir d'autres plus éloignées, et ainsi de suite. C'est pourquoi toute vague en voie de formation est composée de portions dont les vitesses sont les plus grandes vers le haut; quand le vent est violent, l'accélération de vitesse produit sur chaque vague une crête qui devient de plus en plus proéminente,

---

le désaccord n'est qu'apparent puisque la tension superficielle dépend de la température.

et qui finit par se désagréger dans l'espace, ou, comme on dit, par *déferler*.

» Il suit de là que toute cause capable d'empêcher le glissement des tranches superficielles des eaux de la mer les unes sur les autres constituera un obstacle à l'accroissement graduel de la force vive des masses liquides.

» Or une cause pareille se trouve précisément dans l'huile qui recouvre sur une étendue suffisante la surface de la mer; en vertu de sa légèreté spécifique, l'huile remonte toujours à la surface, et rend impossible le glissement d'une couche sur une autre. C'est ce qui explique l'efficacité, si mystérieuse au premier abord, des huiles susceptibles d'être étalées en lames d'une minceur incroyable [$\frac{1}{100000}$ à $\frac{1}{200000}$ de millimètre (1)]; dès que le glissement des couches est entravé, il est clair que la formation des crêtes en *brisants*, si redoutables pour les marins, devient également impossible.

» Mais il y a plus : non seulement l'huile empêche la mer de *déferler*, mais encore elle peut transformer les vagues à crêtes en ondulations régulières formant la houle. En effet, si une haute vague se rapproche d'une portion de la mer couverte d'huile, celle-ci s'étale subitement sur la surface concave de la lame et atteint bientôt le sommet de la crête; dès ce moment, le glissement des couches superficielles autour de la volute qui surmonte la vague devient impossible; de là une résistance qui accumule le liquide au haut de la crête, et celle-ci retombe avec grand bruit sur la mer. »

---

(1) *Voir* Note A.

NOTE E.

SUR L'ÉPAISSEUR DES BULLES DE SAVON.

La question de la plus petite épaisseur que peut prendre une lamelle liquide n'a pas seulement un intérèt de curiosité; on peut en déduire d'importantes conséquences pour la Physique moléculaire, ainsi que sir W. Thomson l'a montré dans son célèbre Mémoire *Sur la grandeur des atomes*. Ce sujet avait déjà préoccupé Newton, qui avait mis beaucoup de soin à observer les bulles de savon. « Pour protéger les bulles contre l'agitation de l'air, aussitôt que j'en avais soufflé une, je la couvrais d'un verre bien clair, et je voyais ses couleurs émerger dans un ordre très régulier, comme autant d'anneaux concentriques partant du sommet. Et, à mesure que la bulle devenait plus mince par l'écoulement continu du liquide, les anneaux se dilataient lentement, et recouvraient toute la bulle, descendant en bon ordre, au point le plus bas, où ils s'évanouissaient successivement. Pendant ce temps, lorsque toutes les couleurs avaient quitté le sommet, on voyait se former, au centre des anneaux,

une petite tache noire de forme circulaire, qui se dilatait continuellement jusqu'à atteindre un demi-pouce ou trois quarts de pouce avant que la bulle crève ([1]). »

C'est cette tache noire qui caractérise le dernier état de la membrane.

De nombreuses recherches ont été consacrées, dans ces dernières années, à la mesure de l'épaisseur de la bulle en cet endroit; nous citerons en particulier celles de MM. Reynold et Rücker, qui paraissent avoir été faites avec un grand souci de l'exactitude ([2]).

Les auteurs ont vérifié d'abord que la résistance électrique spécifique des membranes minces est constante, quelle que soit leur épaisseur, à partir de $0^{\mu},374$, et ils ont supposé que cette constance subsiste au-dessous de cette valeur; au-dessus, l'épaisseur pouvait être aisément estimée, grâce à la coloration de la membrane, et la résistance électrique servait à mesurer les épaisseurs inférieures à la dernière lamelle mesurée optiquement.

Dans un second groupe d'expériences, ils formaient une série de 50 à 60 membranes parallèles dans un tube de verre de 40^{cm} de longueur et de 18^{mm} de diamètre intérieur; le tube était placé sur le parcours de l'un des rayons, dans le réfractomètre interférentiel de Jamin. Lorsque les membranes présentaient la tache noire, un certain nombre d'entre elles étaient rompues à l'aide d'aiguilles d'acier que l'on déplaçait au moyen d'un aimant.

([1]) Newton, *Optics, Second Book*, 1721. Cité par sir William Thomson, *loc. cit.*

([2]) A.-W. Reynold et A.-W. Rücker, *On the limiting thickness of liquid films*. (*Proc. Royal Soc.*, 6 may 1883).

L'épaisseur moyenne des membranes était déduite du déplacement des franges. Les résultats moyens de ces mesures furent les suivants :

Liquide glycérique	méthode électrique....	0μ,0119
	» optique......	0 ,0107
Eau de savon.....	méthode électrique....	0 ,0117
	» optique......	0 ,0121

La concordance de ces nombres vérifie la méthode électrique. Un examen détaillé des conditions dans lesquelles les membranes se modifient a conduit les auteurs à formuler diverses lois, parmi lesquelles nous citerons les plus caractéristiques :

1° Les membranes qui montrent la tache noire de premier ordre des anneaux de Newton présentent une discontinuité apparente dans leur épaisseur, à la limite de la partie noire et de la partie colorée.

2° La région noire est d'épaisseur uniforme aussitôt après sa formation ; cette épaisseur reste constante, quels que soient les changements qui se produisent dans la partie colorée ;

3° La valeur moyenne de l'épaisseur est constante à moins d'un millionième de millimètre près, que la membrane soit plane ou cylindrique, en contact avec un métal ou du verre, qu'elle soit constituée par de l'eau de savon seule ou additionnée de plus des deux tiers de glycérine.

Les données qui précèdent nous fournissent un exemple très frappant des effets possibles des forces capillaires. Supposons, ce qui n'est pas absurde en théorie, une série

de lamelles noires, montées parallèlement entre deux surfaces de 1^{cm^2}, et distantes l'une de l'autre de leur propre épaisseur ; nous aurons ainsi 500 000 lames parallèles, exerçant chacune un effort de traction égale à 150^{mg}; l'effort combiné de ces membranes sera capable de soulever un poids de 75^{kg}.

FIN.

TABLE DES MATIÈRES.

TROISIÈME CONFÉRENCE

La veine liquide.

QUATRIÈME CONFÉRENCE.

Perméabilité et contact des bulles de savon.

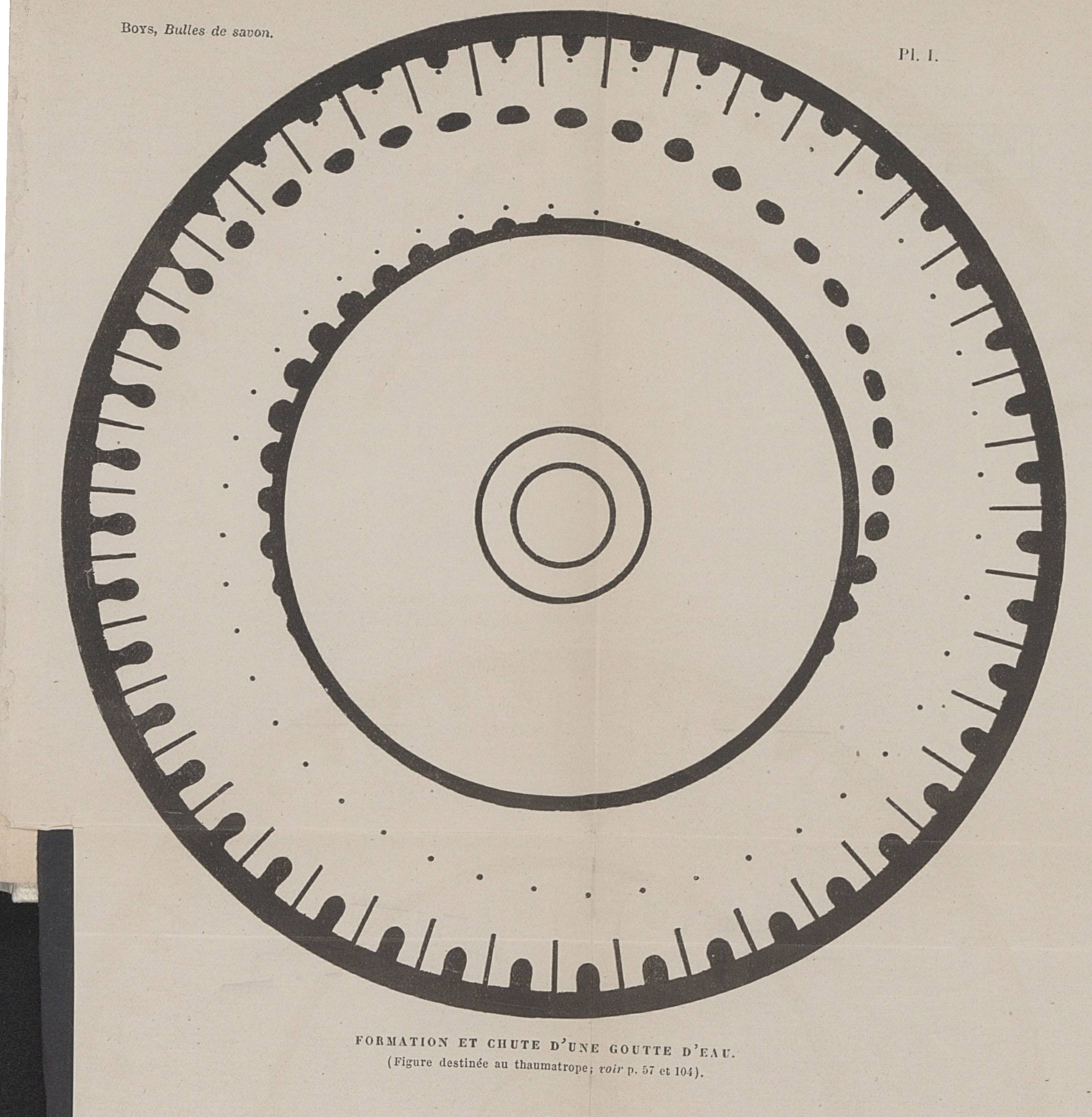
INDICATIONS RELATIVES

AUX EXPÉRIENCES DÉCRITES.

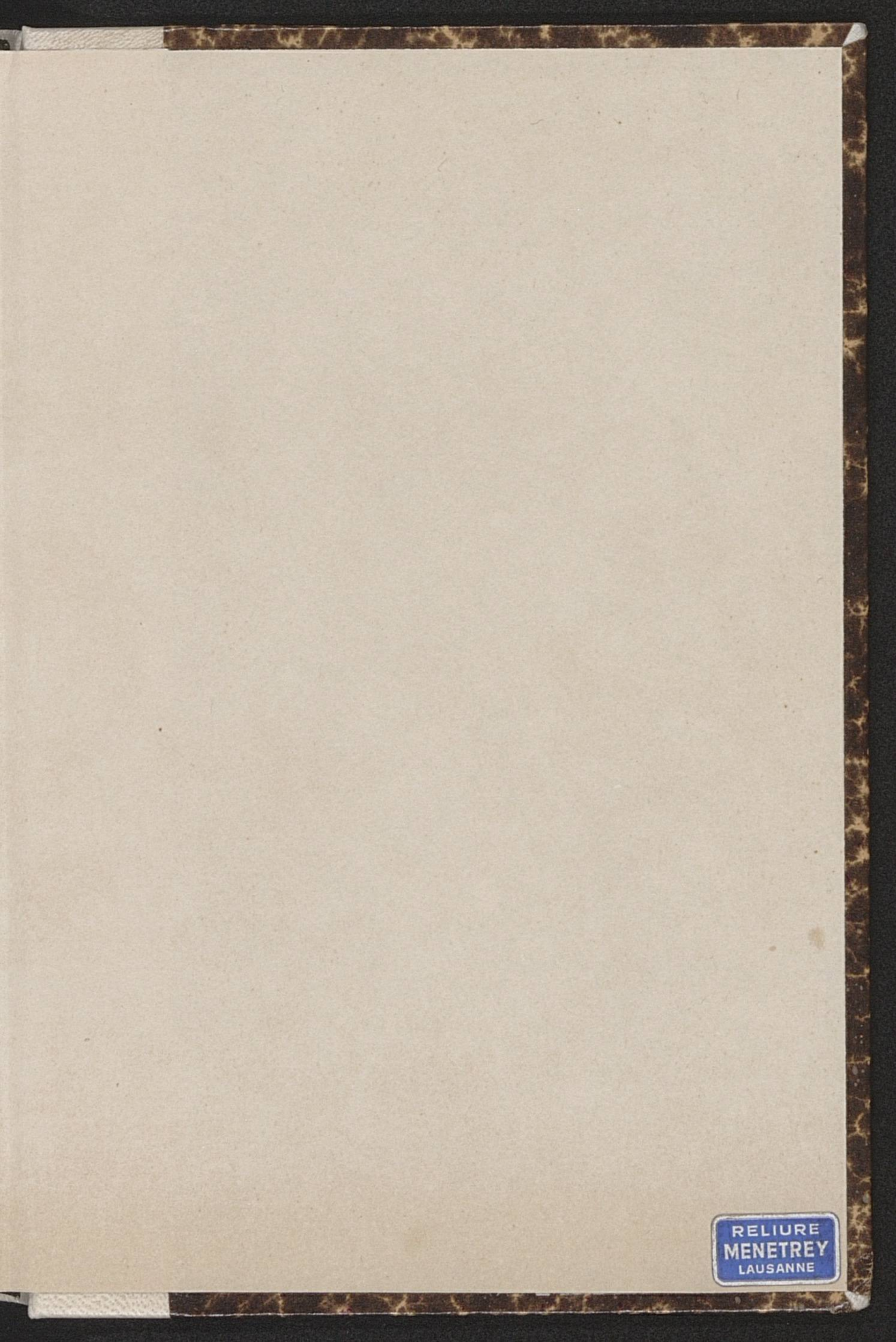
NOTES DU TRADUCTEUR.

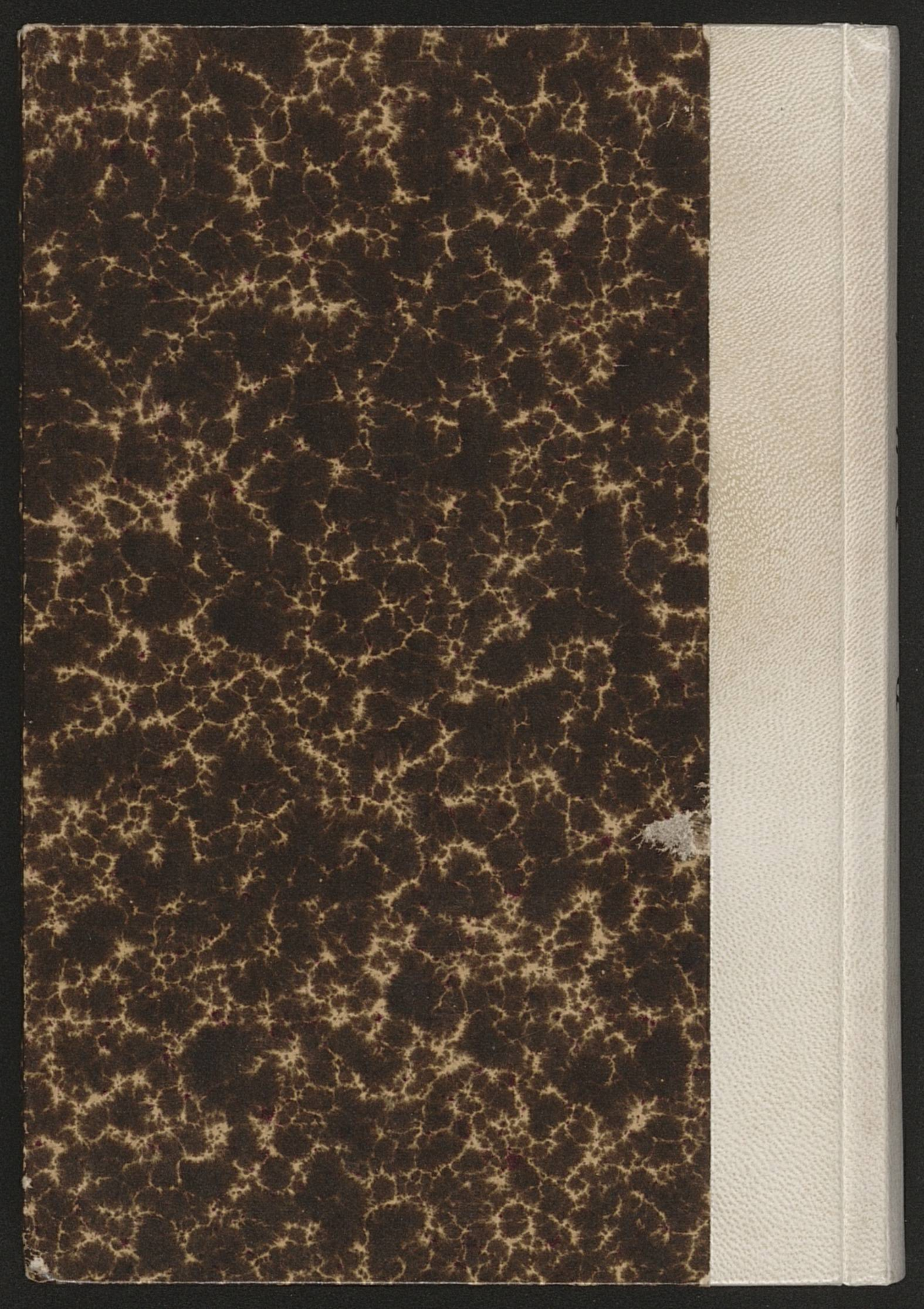
FIN DE LA TABLE DES MATIÈRES.

Paris. — Imp. Gauthier-Villars et fils, 55, quai des Grands-Augustins.



FORMATION ET CHUTE D'UNE GOUTTE D'EAU.
(Figure destinée au thaumatrope; *voir* p. 57 et 104).


RELIURE
MENETREY
LAUSANNE



Boys. Bulles de savon.

inches | centimeters

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11 (A)	12	13	14	15
L*	39.12	65.43	49.87	44.26	55.56	70.82	63.51	39.92	52.24	97.06	92.02	87.34	82.14	72.06	62.15
a*	13.24	18.11	-4.34	-13.80	9.82	-33.43	34.26	11.81	48.55	-0.40	-0.60	-0.75	-1.06	-1.19	-1.07
b*	15.07	18.72	-22.29	22.85	-24.49	-0.35	59.60	-46.07	18.51	1.13	0.23	0.21	0.43	0.28	0.19
Density →										0.04	0.09	0.15	0.22	0.36	0.51

	16 (M)	17	18 (B)	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
	49.25	38.62	28.86	16.19	8.29	3.44	31.41	72.46	72.95	29.37	54.91	43.96	82.74	52.79	50.87	L*
	-0.16	-0.18	0.54	-0.05	-0.81	-0.23	20.98	-24.45	16.83	13.06	-38.91	52.00	3.45	50.88	-27.17	a*
	0.01	-0.04	0.60	0.73	0.19	0.49	-19.43	55.93	68.80	-49.49	30.77	30.01	81.29	-12.72	-29.46	b*
Density	0.75	0.98	1.24	1.67	2.04	2.42										

D50 Illuminant, 2 degree observer

Golden Thread

Colors by Munsell Color Services Lab

Don Williams